

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Construction Mécanique

**Par** : BENSAOULA Islam  
BENKOU Walid

### **Sujet**

## **Reconnaissance automatique des ajustements**

Soutenu publiquement, le 21 / 06 / 2026 , devant le jury composé de :

M HADJOUI Abdelhamid  
Mme CHORFI sidi Mohamed  
M HAMOU Said

Université de Tlemcen  
Université de Tlemcen  
Université de Tlemcen

Président  
Examineur  
Encadreur

**2025-2026**

# REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur, Monsieur **Hamou Said**, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations et son expérience ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous exprimons également notre gratitude à l'ensemble des enseignants du département qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis leurs connaissances tout au long de notre parcours universitaire.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles, nos proches et toutes les personnes qui nous ont soutenus, encouragés et aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

À tous, nous exprimons notre profonde reconnaissance et notre sincère gratitude.

# DEDICACES

## **À mon très cher père,**

Les mots ne suffisent pas pour exprimer toute ma reconnaissance et mon profond respect envers toi. Merci pour tous les sacrifices que tu as consentis afin de m'offrir les meilleures conditions de vie et d'études. Tu as toujours été un exemple de courage, de travail, d'honnêteté et de persévérance. Ton soutien, tes conseils, ta confiance et tes encouragements ont été une source de motivation tout au long de mon parcours. Grâce à tes efforts et à ton dévouement, j'ai pu avancer et atteindre cet objectif. Que Dieu te protège, te garde en bonne santé et te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi. Ce travail est le fruit de tes sacrifices et de ton amour.

## **À ma très chère maman,**

Aucune dédicace ne saurait exprimer toute la gratitude, l'amour et le respect que je te porte. Merci pour ton affection infinie, ta patience, tes sacrifices, tes prières et ton soutien inconditionnel à chaque étape de ma vie. Tu as toujours été une source de courage, de confiance et de réconfort dans les moments difficiles. Grâce à ton dévouement et à tes encouragements, j'ai pu poursuivre mes études et atteindre cet objectif. Que Dieu te protège, te comble de bonheur, de santé et de longue vie. Ce travail est avant tout le fruit de tes efforts et de ton amour.

## **À mes chers frères,**

Pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements constants. Merci d'avoir toujours été présents à mes côtés.

## **À mes chers amis,**

Pour leur amitié sincère, leur aide et tous les moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable.

## **À tous ceux qui me sont chers,**

À toutes les personnes qui m'ont soutenu, encouragé et accompagné de près ou de loin tout au long de mon parcours académique et durant la réalisation de ce mémoire.

Je dédie ce travail avec toute ma gratitude, mon respect et ma sincère affection

**ISLAM**

### **À mon cher père,**

En témoignage de mon profond respect et de mon immense gratitude. Merci pour tous les efforts et les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma réussite. Tu as toujours été un exemple de courage, de responsabilité et de persévérance. Tes conseils, ton soutien et ta confiance ont été pour moi une source de force et de motivation. Que Dieu te protège, t'accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur, et te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.

### **À ma chère mère,**

Aucune parole ne saurait exprimer l'amour, le respect et la reconnaissance que je te porte. Merci pour ta tendresse, ta patience, tes sacrifices et tes prières qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours. Tu as toujours été mon refuge, mon soutien et ma source de courage dans les moments difficiles. Que Dieu te garde, te bénisse et te comble de santé, de bonheur et de sérénité. Je te dédie ce travail avec tout mon amour et ma gratitude.

### **À mes chers frères,**

Pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements constants. Merci d'avoir toujours été présents à mes côtés.

### **À mes chers amis,**

Pour leur présence, leur amitié sincère et les précieux moments partagés.

### **À tous ceux qui me sont chers,**

À toutes les personnes qui m'ont soutenu, encouragé et accompagné de près ou de loin tout au long de mon parcours académique et durant la réalisation de ce mémoire.

Je dédie ce travail avec toute ma gratitude, mon respect et ma sincère affection.

**WALID**

# Résumé

Ce mémoire est consacré à l'étude et à l'automatisation des calculs des ajustements mécaniques dans les assemblages arbre-alésage. Ce travail vise à développer des programmes sous Python capables de calculer automatiquement les différents types d'ajustements mécaniques, afin de faciliter les calculs et réduire les erreurs.

Dans ce contexte, nous avons présenté les notions générales sur les tolérances, les écarts et les ajustements mécaniques. Ensuite, nous avons étudié les différents types d'ajustements : avec jeu, serré et incertain, ainsi que leurs méthodes de calcul.

Enfin, nous avons réalisé plusieurs programmes sous Python permettant d'automatiser les calculs des dimensions limites, des écarts et des ajustements, avec l'affichage des résultats sous forme de tableaux et de graphiques. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de l'utilisation de Python pour améliorer la rapidité et la précision des calculs mécaniques.

Mots clés : Ajustements mécaniques, Tolérances, Arbre-alésage, Python, Calcul automatique.

## ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة التوافقات الميكانيكية في تجميعات العمود والثقب، مع تطوير برنامج باستعمال لغة Python لحساب مختلف أنواع التوافقات الميكانيكية بشكل آلي. يهدف هذا العمل إلى تسهيل العمليات الحسابية وتقليل الأخطاء وتحسين دقة النتائج.

في هذا الإطار، تم تقديم المفاهيم الأساسية المتعلقة بالتسامحات والأبعاد الحدية والانحرافات والتوافقات الميكانيكية. كما تمت دراسة الأنواع المختلفة للتوافقات، وهي: التوافق الخلوصي، والتوافق بالتداخل (أو بالشد)، والتوافق الانتقالي، مع شرح طرق حساب كل نوع منها.

وفي الجانب التطبيقي، تم إنجاز برنامج بلغة Python لحساب الأبعاد الحدية والانحرافات والتوافقات الميكانيكية، مع عرض النتائج في شكل جداول ورسومات بيانية. وقد أظهرت النتائج فعالية استخدام لغة Python في تسريع العمليات الحسابية وتحسين دقتها، مما يساهم في تسهيل دراسة وتحليل التوافقات الميكانيكية في المجال الصناعي.

الكلمات المفتاحية: التوافقات الميكانيكية، التسامحات، نظام العمود والثقب، لغة Python، الحساب الآلي.

# **Abstract**

This dissertation focuses on the study of mechanical fits in shaft-hole assemblies and the development of a Python-based program for the automatic calculation of different types of mechanical fits. The main objective of this work is to simplify calculations, reduce errors, and improve the accuracy of results.

First, the fundamental concepts related to tolerances, limit dimensions, deviations, and mechanical fits are presented. Then, the different types of fits are studied, namely clearance fits, interference fits, and transition fits, along with their calculation methods.

In the practical part, several Python programs were developed to calculate limit dimensions, deviations, and mechanical fits automatically, with the results displayed in the form of tables and graphical representations. The obtained results demonstrate the effectiveness of Python in speeding up calculations and improving their accuracy, making it a valuable tool for the study and analysis of mechanical fits in industrial applications.

Keywords: Mechanical Fits, Tolerances, Shaft-Hole System, Python, Automatic Calculation.

# Table des matières :

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| REMERCIEMENTS.....                    | I  |
| DEDICACES.....                        | II |
| RESUME.....                           | IV |
| ملخص.....                             | IV |
| ABSTRACT.....                         | V  |
| LISTE DES FIGURES.....                | X  |
| LISTE DES TABLEAU.....                | XI |
| INTRODUCTION GENERALE                 | 1  |
| CHAPITRE 1 : SYSTEME ISO DE TOLERANCE |    |

|       |                                                                                |   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|---|
| I.    | OBJET DES TOLERANCES.....                                                      | 3 |
| II.   | LE CONTROLE DIMENSIONNEL.....                                                  | 3 |
|       | II.1 Unités de longueur.....                                                   | 4 |
|       | II.2 Exemples.....                                                             | 4 |
| III.  | L'INTERCHANGEABILITE .....                                                     | 5 |
|       | • L'interchangeabilité complète 5                                              |   |
|       | • L'interchangeabilité limitée 5                                               |   |
| IV.   | NOTIONS DE DIMENSIONS ET DE COTES TOLERANCEES..                                | 5 |
| V.    | TYPES DE COTES.....                                                            | 6 |
|       | V.1 Cote nominale.....                                                         | 6 |
|       | V.2 Cotes limites.....                                                         | 6 |
| VI.   | ÉCARTS D'UN ARBRE.....                                                         | 7 |
|       | VI.1 Écart supérieur.....                                                      | 7 |
|       | VI.2 Écart inférieur.....                                                      | 7 |
| VII.  | TOLERANCE D'UN ARBRE.....                                                      | 8 |
| VIII. | ÉCARTS ET TOLERANCES D'UN ALESAGE.....                                         | 8 |
| IX.   | COTES TOLERANCEES.....                                                         | 8 |
| X.    | ZONES DE TOLERANCE.....                                                        | 9 |
| XI.   | SYSTEME DE TOLERANCES ET AJUSTEMENTS POUR LES<br>ASSEMBLAGES CYLINDRIQUES..... | 9 |

|              |                                                                 |           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| XI.1         | Principes du système ISO.....                                   | 9         |
| XI.2         | Choix des tolérances.....                                       | 10        |
| XI.3         | Principe de Taylor.....                                         | 11        |
| XI.4         | Domaine d'application.....                                      | 12        |
| <b>XII.</b>  | <b>PALIER DE DIAMETRE.....</b>                                  | <b>12</b> |
| XII.1        | Détermination de la tolérance.....                              | 12        |
| XII.2        | Position des tolérances.....                                    | 13        |
| XII.3        | Positions normalisées.....                                      | 14        |
| XII.4        | Cas des alésages.....                                           | 14        |
| <b>XIII.</b> | <b>INSCRIPTION DES TOLERANCES.....</b>                          | <b>19</b> |
| XIII.1       | Cotation des ajustements.....                                   | 19        |
| <b>XIV.</b>  | <b>FACTEURS DE CHOIX DES TOLERANCES ET<br/>AJUSTEMENTS.....</b> | <b>20</b> |
| XIV.1        | Méthode de choix d'un ajustement.....                           | 21        |
| XIV.1.1      | Données nécessaires.....                                        | 21        |
| XIV.1.2      | Étapes de détermination.....                                    | 21        |
|              | • Calcul de la tolérance totale.....                            | 21        |
|              | • Répartition des tolérances.....                               | 21        |
|              | • Choix de l'alésage.....                                       | 21        |
|              | • Détermination de l'arbre.....                                 | 21        |
|              | • Vérification.....                                             | 21        |
| XIV.2        | Exemple d'application : Détermination d'un ajustement.....      | 22        |
| <b>XV.</b>   | <b>CONCLUSION.....</b>                                          | <b>23</b> |

## CHAPITRE 2 : LES AJUSTEMENTS

|             |                                              |           |
|-------------|----------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCTION.....</b>                     | <b>25</b> |
| <b>II.</b>  | <b>DÉFINITION DES AJUSTEMENTS.....</b>       | <b>25</b> |
| <b>III.</b> | <b>ÉLÉMENTS D'UN AJUSTEMENT.....</b>         | <b>25</b> |
| <b>IV.</b>  | <b>TYPE D'AJUSTEMENTS.....</b>               | <b>26</b> |
| IV.1        | L'ajustement avec jeu.....                   | 26        |
| IV.2        | Ajustement avec serrage.....                 | 27        |
| IV.3        | Ajustement incertain.....                    | 28        |
| <b>V.</b>   | <b>CARACTERISTIQUES DES AJUSTEMENTS.....</b> | <b>30</b> |
| <b>VI.</b>  | <b>REPRESENTATION DES AJUSTEMENTS.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>VII.</b> | <b>CALCUL DES AJUSTEMENTS.....</b>           | <b>30</b> |
| VII.1       | Formule utilisées.....                       | 31        |
| VII.2       | Interprétation.....                          | 31        |
| VII.3       | Exemple simple.....                          | 31        |

|              |                                                         |           |
|--------------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>VIII.</b> | <b>CHOIX DES AJUSTEMENTS.....</b>                       | <b>32</b> |
| <b>IX.</b>   | <b>EPRESENTATION DES AJUSTEMENTS.....</b>               | <b>32</b> |
| <b>X.</b>    | <b>APPLICATION DES AJUSTEMENTS DANS L'INDUSTRIE....</b> | <b>32</b> |
| <b>XI.</b>   | <b>LIEN AVEC LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE.....</b>     | <b>33</b> |
| <b>XII.</b>  | <b>AJUSTEMENTS RECOMMANDES.....</b>                     | <b>33</b> |
|              | XII.1 Ajustements pour pièces mobiles.....              | 33        |
|              | XII.2 Ajustements pour pièces fixes.....                | 33        |
| <b>XIII.</b> | <b>PRINCIPALES METHODES DE REALISATION DES</b>          |           |
|              | <b>AJUSTEMENTS AVEC SERRAGE.....</b>                    | <b>34</b> |
|              | XIII.1 Emmanchement forcé à froid.....                  | 34        |
|              | XIII.1.1.Au maillet ou au marteau.....                  | 34        |
|              | XIII.1.2.À la presse.....                               | 34        |
|              | XIII.2 Emmanchement par dilatation de l'alésage.....    | 34        |
|              | XIII.3 Emmanchement par contraction de l'arbre.....     | 35        |
| <b>XIV.</b>  | <b>CONCLUSION.....</b>                                  | <b>35</b> |

## **CHAPITRE 3 : RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DES AJUSTEMENTS**

|              |                                                  |           |
|--------------|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>    | <b>INTRODUCTION.....</b>                         | <b>37</b> |
| <b>II.</b>   | <b>ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT.....</b>       | <b>37</b> |
|              | II.1 Logiciel et matériel.....                   | 37        |
|              | II.2 Bibliothèque Openpyx.....                   | 37        |
|              | II.3 Bibliothèque Matplotlib.....                | 37        |
| <b>III.</b>  | <b>PRINCIPE GENERAL DU PROGRAMME.....</b>        | <b>37</b> |
| <b>IV.</b>   | <b>ORGANIGRAMME DE FONCTIONNEMENT DU</b>         |           |
|              | <b>PROGRAMME.....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>V.</b>    | <b>LECTURE DES DONNEES ISO DEPUIS EXCEL.....</b> | <b>40</b> |
| <b>VI.</b>   | <b>DETERMINATION AUTOMATIQUE DE LA PLAGE</b>     |           |
|              | <b>DIMENSIONNELLE.....</b>                       | <b>40</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>EXTRACTION DES ECARTS NORMALISES.....</b>     | <b>40</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>CALCUL DES DIMENSIONS LIMITES.....</b>        | <b>40</b> |
| <b>IX.</b>   | <b>CALCULE DU JEU ET DETERMINAYION DU TYBE</b>   |           |
|              | <b>D'AJUSTEMENT.....</b>                         | <b>41</b> |
| <b>X.</b>    | <b>AFFICHAGE DES RESULTATS.....</b>              | <b>41</b> |
| <b>XI.</b>   | <b>GENERATION GRAPHIQUE DES RESULTATS.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>XII.</b>  | <b>CONCLUSION.....</b>                           | <b>42</b> |

## **CHAPITRE 4 : APPLICATION DU PROGRAMME**

|             |                                                   |           |
|-------------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCTION.....</b>                          | <b>44</b> |
| <b>II.</b>  | <b>PROGRAMMATION SUR PYTHON.....</b>              | <b>44</b> |
|             | II.1 Programme.....                               | 44        |
|             | II.2 Exécution.....                               | 48        |
|             | II.2.1 Essai n°1 : Ajustement avec jeu.....       | 48        |
|             | • Exemple : $\phi 16$ H8/f8.....                  | 48        |
|             | • Sortie console.....                             | 49        |
|             | • Visualisation graphique.....                    | 49        |
|             | II.2.2 Essai n°2 : Ajustement avec serrage.....   | 49        |
|             | • Exemple : $\phi 20$ H7/p6.....                  | 49        |
|             | • Sortie console.....                             | 50        |
|             | • Visualisation graphique.....                    | 50        |
|             | II.2.3 Essai n°3 : Ajustement avec incertain..... | 51        |
|             | • Exemple : $\phi 20$ H7/j6.....                  | 51        |
|             | • Sortie console.....                             | 51        |
|             | • Visualisation graphique.....                    | 52        |
| <b>III.</b> | <b>COMPARAISON DES RESULTATS.....</b>             | <b>52</b> |
| <b>IV.</b>  | <b>ANALYSE DES RESULTATS.....</b>                 | <b>52</b> |
| <b>V.</b>   | <b>CONCLUSION.....</b>                            | <b>53</b> |
|             | <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>                   | <b>54</b> |
|             | <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>           | <b>55</b> |

# Liste des figures

## Chapitre I

Figure I-1: Schéma des dimensions limites et de la tolérance.

Figure I-2: Illustration de l'interchangeabilité dans un assemblage arbre-alésage.

Figure I-3: Schéma des dimensions et des tolérances d'un ajustement arbre-alésage.

Figure I-4: Représentation des zones de tolérance pour un arbre et un alésage.

Figure I-5: Principe de Taylor

Figure I-6: Positions normalisées des zones de tolérance pour les arbres et les alésages

Figure I-7: Représentation d'un ajustement H7/g6 entre alésage et arbre

Figure I-8: Zones de tolérance de l'ajustement H7/g6 par rapport à la ligne zéro

## Chapitre II

Figure II-1: Différents types d'ajustements : avec jeu, serrage et incertain

Figure II-2: Position des zones de tolérance des arbres dans le système à alésage normal H

## Chapitre III

Figure III-1: **Organigramme de fonctionnement du programme**

## Chapitre IV

Figure IV-1: Code Python développé pour le calcul des ajustements mécaniques

Figure IV-2: Entrée des données de l'ajustement avec jeu ( $\phi 16$  H8/f8)

Figure IV-3: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement avec jeu

Figure IV-4: Représentation graphique des résultats de l'ajustement avec jeu

Figure IV-5: Entrée des données de l'ajustement avec serrage ( $\phi 20$  H7/p6)

Figure IV-6: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement avec serrage

Figure IV-7: Représentation graphique des résultats de l'ajustement avec serrage

Figure IV-8: Entrée des données de l'ajustement incertain ( $\phi 20$  H7/j6)

Figure IV-9: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement incertain

Figure IV-10: Représentation graphique des résultats de l'ajustement incertain

## Liste des tableaux

Tableau I-1: Les unités de longueur et leurs multiples usuels

Tableau I-2: Tableau des tolérances ISO en fonction des paliers de diamètre

Tableau I-3: Ecartes des alésages (en microns)

Tableau I-4: Ecartes des arbres (en microns)

# Introduction générale

Dans le domaine de la mécanique industrielle, la précision des dimensions et la qualité des assemblages jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des systèmes mécaniques. Lors de la fabrication des pièces mécaniques, il est pratiquement impossible d'obtenir des dimensions parfaitement exactes à cause des limites des procédés de fabrication et des machines-outils. Pour cette raison, les ingénieurs utilisent les tolérances et les ajustements afin de garantir l'interchangeabilité des pièces, la fiabilité des assemblages et le bon fonctionnement des mécanismes.

Les ajustements entre arbre et alésage représentent une notion fondamentale en construction mécanique. Selon les exigences fonctionnelles, on distingue généralement trois types d'ajustements : l'ajustement avec jeu, l'ajustement avec serrage et l'ajustement incertain. Le choix de l'ajustement dépend de la fonction de l'assemblage, des conditions d'utilisation et des performances recherchées. Une mauvaise définition des tolérances peut entraîner des problèmes d'usure, de vibrations ou des difficultés de montage.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les différents types d'ajustements et de comprendre l'influence des tolérances dimensionnelles sur les assemblages mécaniques. Ce travail permet également de maîtriser les calculs des écarts, des jeux et des serrages ainsi que l'interprétation des systèmes de tolérances normalisés ISO.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les tolérances, les écarts et les ajustements mécaniques.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des ajustements avec jeu, serré et incertain, ainsi qu'aux méthodes de calcul associées.
- Le troisième chapitre présente la partie pratique et les programmes réalisés sous Python permettant de visualiser et d'analyser les résultats obtenus.
- Le quatrième chapitre est dédié à l'application des différents exemples étudiés et à la comparaison entre les résultats obtenus manuellement et ceux fournis par le programme Python.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et les perspectives possibles.

  ***CHAPITRE 1 : SYSTEME ISO***  
***DE TOLÉRANCE***

## I. OBJET DES TOLÉRANCES

Lors de la fabrication des pièces mécaniques, il est impossible d'obtenir des dimensions parfaitement exactes à cause des limites des procédés d'usinage et des moyens de mesure. Pour cette raison, on autorise une légère variation autour de la dimension théorique afin d'assurer le bon fonctionnement et l'assemblage correct des pièces.

Cette variation admissible est appelée tolérance. Elle correspond à la différence entre la dimension maximale et la dimension minimale autorisées pour une pièce.

La tolérance permet :

- Assurer l'interchangeabilité des pièces.
- Garantir le fonctionnement mécanique correct.
- Réduire le coût de fabrication.
- Faciliter les opérations de montage et de maintenance.

## II. LE CONTROLE DIMENSIONNEL

Mesurer une grandeur consiste à la comparer à une autre grandeur de même nature choisie comme unité. Cependant, une mesure n'est jamais parfaitement exacte, car elle dépend toujours de l'instrument utilisé et des conditions de mesure. Elle est donc basée sur une comparaison avec une valeur de référence appelée un étalon.

On peut mesurer différentes grandeurs comme le temps, la masse, la résistance ou encore la longueur. En construction mécanique, le contrôle dimensionnel concerne principalement la vérification des dimensions des pièces, notamment les dimensions linéaires (le mètre et ses sous-multiples) et angulaires (le degré et ses sous-multiples).

À cause des limites des procédés d'usinage, il est impossible de réaliser une pièce avec une précision absolue. C'est pour cela que le contrôle dimensionnel permet de vérifier que les dimensions réelles d'une pièce sont comprises entre deux limites : la cote maximale et la cote minimale [1]

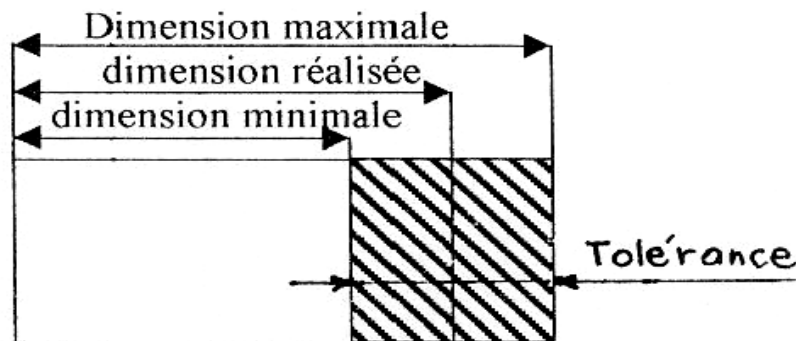


Figure I-1: Schéma des dimensions limites et de la tolérance [1]

Il est donc nécessaire de vérifier que la cote réelle se trouve entre les deux limites définies par la tolérance.

## II.1 Unités de longueur

L'utilisation du millimètre et du micron pour écrire les cotes permet de résoudre tous les problèmes courants en utilisant toujours des nombres entiers.

## II.2 Exemples

0,015 millimètres peuvent être exprimés comme suit : 30 millimètres + 15 microns, ce qui peut être écrit :  $30 + 15$

- 17,965 millimètres peuvent être exprimés comme suit : 18 millimètres - 35 microns, ce qui peut être écrit :  $18 - 35$

Tableau I-1: Les unités de longueur et leurs multiples usuels [1]

| Grandeurs de multiple diameter | Terminologies | Symbol |
|--------------------------------|---------------|--------|
| $10^{12}$                      | Tétramètre    | Tm     |
| $10^9$                         | Gigamètre     | Gm     |
| $10^6$                         | Mégamètre     | Mm     |
| $10^4$                         | Myriamètre    | Mam    |
| $10^3$                         | Kilomètre     | Km     |
| $10^2$                         | Hectomètre    | Hm     |
| $10^1$                         | Décamètre     | Dac    |
| $10^0$                         | Mètre         | M      |
| $10^{-1}$                      | Décimètre     | Dm     |
| $10^{-2}$                      | Centimètre    | Cm     |
| $10^{-3}$                      | Millimètre    | Mm     |
| $10^{-6}$                      | Micron        | $\mu$  |
| $10^{-9}$                      | Nanomètre     | Nm     |
| $10^{-10}$                     | Angström      | Å      |
| $10^{-12}$                     | Picamètre     | Pm     |

### •Unités de longueur

1 yard = 3 Foot = 36 Inch = 0,9144 m

### •Unités d'angle

1 Tour (tr) =  $360^\circ$

1  $\perp$  (d) =  $90^\circ$

Décidegré (dd) =  $0,1^\circ$  Centidegré =

$0,01^\circ$  Millidegré (md) =  $0,001^\circ$

Minute d'angle =  $90^\circ/5400 = 1/60^\circ$  Seconde

d'angle =  $90^\circ/324000 = 1/60'$  Grade (gr) =  
 $90^\circ/100$

Radian (rd) =  $180^\circ/\pi$

### III. L'INTERCHANGEABILITE

L'interchangeabilité est la possibilité d'assembler des pièces fabriquées en série sans retouche ni ajustage supplémentaire. Elle repose sur le respect des tolérances de fabrication afin d'assurer le bon ajustement entre les pièces, notamment dans les assemblages arbre-alésage.

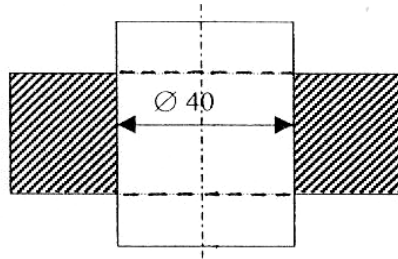


Figure I-2: Illustration de l'interchangeabilité dans un assemblage arbre-alésage. [1]

Il existe deux types d'interchangeabilité dans l'industrie :

- **L'interchangeabilité complète** : toutes les pièces sont directement compatibles, ce qui facilite le montage mais augmente le coût de fabrication.
- **L'interchangeabilité limitée** : les pièces sont sélectionnées ou réusinées avant montage afin de réduire les coûts.

L'interchangeabilité améliore la fabrication industrielle en série, réduit les opérations manuelles, facilite le remplacement des pièces, augmente la productivité et diminue les coûts de fabrication et de maintenance [3]

### IV. NOTIONS DE DIMENSIONS ET DE COTES TOLÉRANCÉES

La figure I-3 illustre un exemple d'assemblage cylindrique entre un arbre et un alésage, appelé ajustement. Elle met en évidence l'ensemble des dimensions et des cotes tolérances pouvant être définies pour ce type de montage.

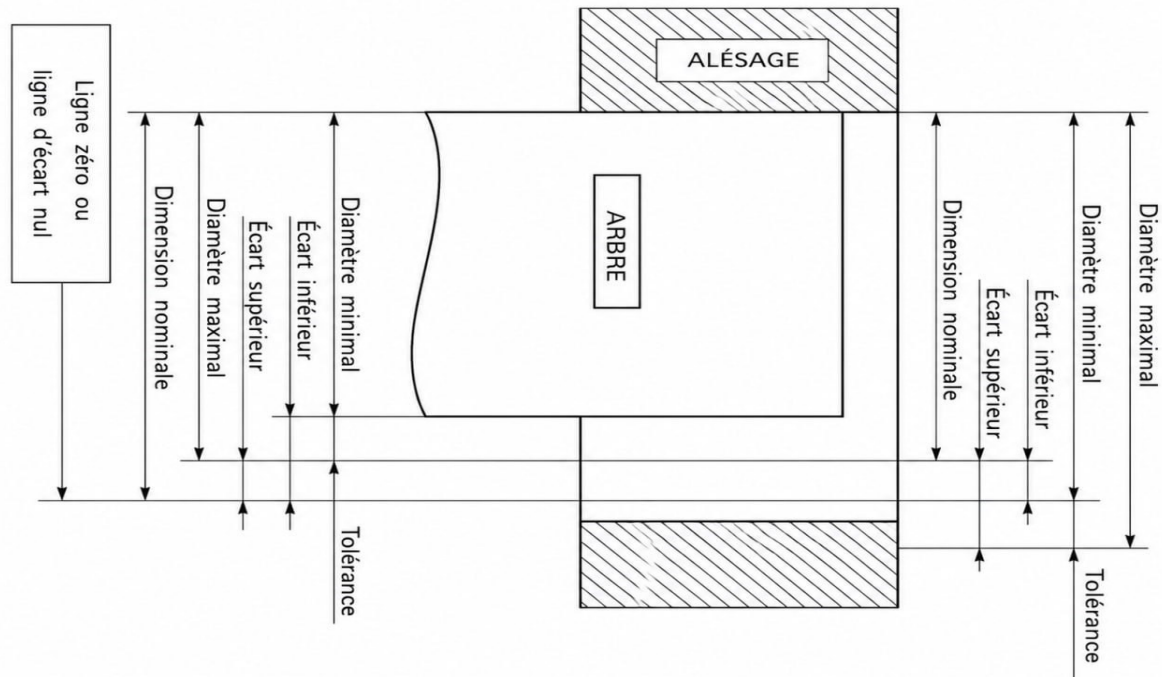


Figure I-3: Schéma des dimensions et des tolérances d'un ajustement arbre-alésage [2]

## **V. TYPES DE COTES**

Dans l'étude des tolérances dimensionnelles, on distingue généralement deux types de cotes : la cote nominale, les cotes limites.

### **V.1.Cote nominale**

La cote nominale correspond à la dimension théorique ou de référence utilisée lors de la conception. Elle sert de base pour définir les dimensions limites.

Dans le cas d'un assemblage, cette cote est identique pour l'arbre et l'alésage, et constitue la valeur autour de laquelle les variations admissibles sont fixées.

### **V.2.Cotes limites**

En pratique, il est impossible d'obtenir une pièce avec une dimension parfaitement égale à la cote nominale en raison des incertitudes liées au procédé de fabrication (conditions d'usinage, outils, etc.).

Pour cette raison, on définit deux limites admissibles :

- une cote minimale
- une cote maximale

Ces deux valeurs représentent les dimensions extrêmes acceptables entre lesquelles doit se situer la dimension réelle de la pièce. L'intervalle entre ces deux limites constitue la tolérance de fabrication, garantissant la précision et l'interchangeabilité des pièces. [1]

Exemple :

Pour une cote nominale de 50 mm :

- Arbre :

$$C_{\max} = 50,10 \text{ mm}$$

$$C_{\min} = 49,80 \text{ mm}$$

- Alésage :

$$C_{\max} = 50,20 \text{ mm}$$

$$C_{\min} = 50,00 \text{ mm}$$

## **VI. ÉCARTS D'UN ARBRE**

L'écart représente la différence algébrique entre une dimension donnée (maximale, minimale) et la cote nominale. Il permet de situer la position de la dimension réelle par rapport à la valeur de référence.

On distingue trois types d'écarts :

### **VI.1. Écart supérieur**

L'écart supérieur est la différence entre la cote maximale et la cote nominale.

On a :

$$es = C_{\max} - C_n$$

Exemple :

$$es = 50,1 - 50 = +0,1 \text{ mm}$$

### **VI.2. Écart inférieur**

L'écart inférieur est la différence entre la cote minimale et la cote nominale.

On a :

$$ei = C_{\min} - C_n$$

Exemple :

$$ei = 49,8 - 50 = -0,2 \text{ mm}$$

## **VII. TOLÉRANCE D'UN ARBRE**

La tolérance de fabrication représente l'intervalle dans lequel la dimension de la pièce peut varier. Elle correspond à la différence entre l'écart supérieur et l'écart inférieur. [1]

$$\left( \begin{array}{c} \text{intervalle de} \\ \text{tolérance} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{supérieur} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{écart} \\ \text{inférieur} \end{array} \right)$$

On a :

$$it = es - ei$$

Cette relation peut également s'écrire :

$$it = C_{\max} - C_{\min}$$

La tolérance est toujours une valeur positive et exprime la précision de fabrication : plus elle est faible, plus la précision est élevée.

## **VIII. ÉCARTS ET TOLÉRANCES D'UN ALESAGE**

Les mêmes principes appliqués aux arbres s'appliquent également pour les alésages. La seule différence réside dans la notation :

- Écart effectif : EE
- Écart supérieur : ES
- Écart inférieur : EI
- Intervalle de tolérance : IT

On a:

$$IT = ES - EI = C_{\max} - C_{\min}$$

## **IX. COTES TOLÉRANCÉES**

Une cote tolérancée est indiquée en précisant la dimension nominale accompagnée des écarts supérieur et inférieur. Cette représentation permet de définir directement les limites admissibles de la dimension. [1]

Exemple :

Arbre :  $\varnothing 40 +0,01 / -0,02$

→  $C_n = 40 \text{ mm}$  ;  $es = +0,01 \text{ mm}$  ;  $ei = -0,02 \text{ mm}$

Alésage :  $\varnothing 50 +0,02 / -0,02$

→ Cn = 50 mm ; ES = +0,02 mm ; EI = -0,02 mm

Arbre : Ø30 +0,03 / 0,00

→ Cn = 30 mm ; es = +0,03 mm ; ei = 0,00 mm

Alésage : Ø60 0,00 / -0,03

→ Cn = 60 mm ; ES = 0,00 mm ; EI = -0,03 mm

## X. ZONES DE TOLÉRANCE

Les tolérances de fabrication d'un arbre ou d'un alésage sont représentées par des rectangles appelés zones de tolérance. Une zone de tolérance correspond à l'intervalle entre l'écart supérieur et l'écart inférieur par rapport à la ligne zéro, qui représente la cote nominale. Les écarts positifs se situent au-dessus de la ligne zéro, tandis que les écarts négatifs se trouvent au-dessous. La zone de tolérance peut être entièrement au-dessus, entièrement au-dessous ou répartie de part et d'autre de la ligne zéro. Cette représentation permet de visualiser simplement la position et l'étendue des tolérances. [1]

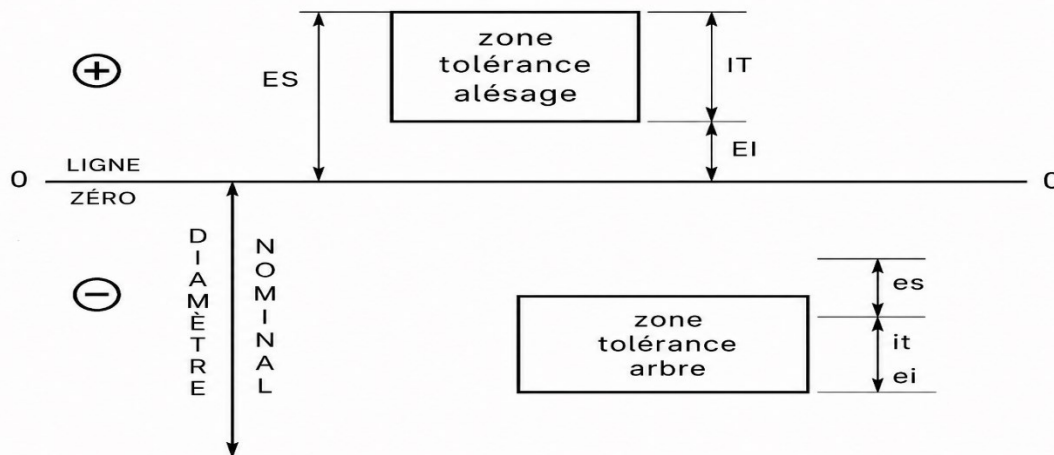


Figure I-4: Représentation des zones de tolérance pour un arbre et un alésage[1]

## XI. SYSTEME DE TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS POUR LES ASSEMBLAGES CYLINDRIQUES

### **XI.1. Principes du système ISO**

Le système ISO définit les règles normalisées utilisées pour déterminer les tolérances dimensionnelles des pièces mécaniques. Ce système est appliqué principalement aux pièces

cylindriques comme les arbres et les alésages, mais il peut également être utilisé pour d'autres formes.

Dans ce système :

- L'alésage représente la partie intérieure d'une pièce mécanique.
- L'arbre représente la partie extérieure destinée à s'assembler avec l'alésage.
- Le système ISO permet d'unifier les dimensions et les tolérances afin d'assurer la compatibilité entre les pièces fabriquées dans différents ateliers ou industries. [2]

## **XI.2. Principe des tolérances**

Chaque pièce mécanique possède une dimension nominale, appelée aussi dimension théorique ou dimension de base. À partir de cette dimension, on définit deux dimensions limites :

- la dimension maximale
- la dimension minimale.

La différence entre ces deux dimensions représente la tolérance. Elle correspond à la variation admissible de la dimension réelle de la pièce afin d'assurer le bon fonctionnement de l'assemblage.

### **Pour un alésage**

- l'écart supérieur est :

$$ES = D_{\max} - D_{\text{nom}}$$

- l'écart inférieur est :

$$EI = D_{\min} - D_{\text{nom}}$$

Avec :

- $D_{\text{nom}}$  : dimension nominale de l'alésage ;
- $D_{\max}$  : dimension maximale ;
- $D_{\min}$  : dimension minimale.

### **Pour un arbre**

- l'écart supérieur est :

$$es = d_{\max} - d_{\text{nom}}$$

- l'écart inférieur est :

$$ei = d_{\min} - d_{\text{nom}}$$

Avec :

- $d_{\text{nom}}$  : dimension nominale de l'arbre ;
- $d_{\text{max}}$  : dimension maximale ;
- $d_{\text{min}}$  : dimension minimale.

Ces écarts peuvent être positifs, négatifs ou nuls selon la position de la zone de tolérance par rapport à la ligne zéro

### XI.3. Principe de Taylor

Pour un arbre, on estime qu'une surface est correcte :

- Si tout point de la surface est à l'intérieur d'un cylindre ayant pour diamètre le diamètre maximal et pour longueur la longueur spécifiée ;
- Si en toute position sur la longueur spécifiée le diamètre de la surface n'est pas inférieur au diamètre minimal.

La surface peut présenter toute irrégularité de forme compatible avec cette double condition. [2]

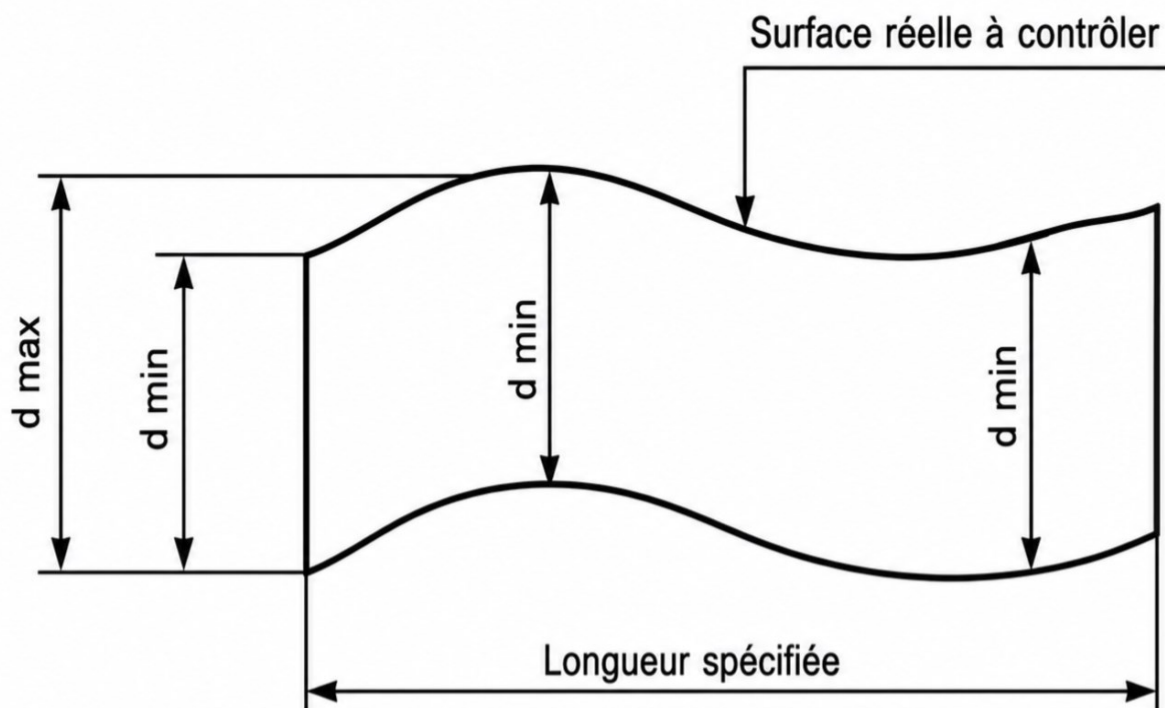


Figure I-5: Principe de Taylor [2]

## **XI.4. Domaine d'application**

Le système ISO s'applique principalement aux dimensions nominales comprises entre 1 mm et 500 mm. Toutes les mesures sont référencées à une température standard de 20°C, afin de garantir la précision et la reproductibilité des résultats.

Pour les dimensions en dehors de cet intervalle, des normes spécifiques peuvent être définies selon les pays et les conditions industrielles.

## **XII. PALIERS DE DIAMETRE**

Dans le système ISO, les dimensions nominales comprises entre 1 mm et 500 mm sont normalisées afin de faciliter leur utilisation en conception mécanique. Pour simplifier l'exploitation des tableaux de tolérances, ces dimensions sont regroupées en paliers de diamètre. [1]

Au total, le système ISO définit 13 paliers, tels que :

1 à 3 mm, 3 à 6 mm, 6 à 10 mm, 10 à 15 mm, ..., 315 à 400 mm, 400 à 500 mm.

Dans ces intervalles :

- La limite supérieure est incluse.
- La limite inférieure est exclue.
- Par exemple, une dimension de 6 mm appartient au palier 3 à 6 mm.

### **XII.1. Détermination de la tolérance**

Pour chaque palier, la tolérance est considérée comme constante pour toutes les dimensions qu'il contient. Cela permet de simplifier les calculs et l'utilisation des tableaux normalisés.

Afin de déterminer la tolérance associée à un palier, on utilise le diamètre moyen de celui-ci, défini par la relation suivante :

$$D = \sqrt{(D1 \times D2)}$$

Où :

D : diamètre moyen du palier

D1 : limite inférieure du palier

D2 : limite supérieure du palier

Tableau I-2: Tableau des tolérances ISO en fonction des paliers de diamètre [1]

| QUALITES | P A L I E R S   D E   D I A M E T R E S (en mm) |            |             |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |
|----------|-------------------------------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | ≤ 3                                             | > 3<br>< 6 | > 6<br>< 10 | > 10<br>< 18 | > 18<br>< 30 | > 30<br>< 50 | > 50<br>< 80 | > 80<br>< 120 | > 120<br>< 180 | > 180<br>< 250 | > 250<br>< 315 | > 315<br>< 400 | > 400<br>< 500 |
| 01       | 0,3                                             | 0,4        | 0,4         | 0,5          | 0,6          | 0,6          | 0,8          | 1             | 1,2            | 2              | 2,5            | 3              | 4              |
| 0        | 0,6                                             | 0,6        | 0,6         | 0,8          | 1            | 1            | 1,2          | 1,5           | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              |
| 1        | 0,8                                             | 1          | 1           | 1,2          | 1,5          | 1,5          | 2            | 2,5           | 3,5            | 4,5            | 6              | 7              | 8              |
| 2        | 1,2                                             | 1,5        | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             | 5              | 7              | 8              | 9              | 10             |
| 3        | 2                                               | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 5            | 5            | 6             | 8              | 10             | 12             | 13             | 15             |
| 4        | 3                                               | 4          | 4           | 5            | 6            | 7            | 8            | 10            | 12             | 14             | 16             | 18             | 20             |
| 5        | 4                                               | 5          | 6           | 8            | 9            | 11           | 13           | 15            | 18             | 20             | 23             | 25             | 27             |
| 6        | 6                                               | 8          | 9           | 11           | 13           | 16           | 13           | 22            | 25             | 29             | 32             | 36             | 40             |
| 7        | 10                                              | 12         | 15          | 18           | 21           | 25           | 30           | 35            | 40             | 46             | 52             | 57             | 63             |
| 8        | 14                                              | 18         | 22          | 27           | 33           | 39           | 46           | 54            | 63             | 72             | 81             | 89             | 97             |
| 9        | 25                                              | 30         | 36          | 43           | 54           | 62           | 74           | 87            | 100            | 115            | 130            | 140            | 155            |
| 10       | 40                                              | 48         | 58          | 70           | 84           | 100          | 120          | 140           | 160            | 185            | 210            | 230            | 250            |
| 11       | 80                                              | 75         | 90          | 110          | 130          | 160          | 190          | 200           | 250            | 270            | 320            | 360            | 400            |
| 12       | 100                                             | 100        | 150         | 180          | 210          | 250          | 350          | 350           | 460            | 480            | 570            | 570            | 630            |
| 13       | 140                                             | 180        | 220         | 270          | 330          | 390          | 460          | 540           | 630            | 720            | 810            | 890            | 970            |
| 14       | 250                                             | 300        | 360         | 460          | 520          | 620          | 740          | 870           | 1000           | 1150           | 1300           | 1400           | 1550           |
| 15       | 400                                             | 480        | 580         | 700          | 840          | 1000         | 1200         | 1400          | 1600           | 1850           | 2100           | 2300           | 2500           |
| 16       | 600                                             | 750        | 900         | 1100         | 1300         | 1600         | 1900         | 2200          | 2500           | 2900           | 3200           | 3600           | 4000           |

**Exemple de détermination de la tolérance**

Considérons un arbre de diamètre nominal 40 mm et de qualité IT7, ce qui correspond à un indice de qualité  $K = 16$ .

Ce diamètre appartient au palier 30 à 50 mm. Le diamètre moyen de ce palier est donné par :

$$D = \sqrt{(30 \times 50)}$$

La tolérance de fabrication est alors calculée à l'aide de la relation normalisée :

$$It = [0,45 \times D^{(1/3)} + 0,001 \times D] \times K$$

En remplaçant les valeurs numériques, on obtient :

$$It \approx 25 \text{ microns}$$

**XII.2. Position des tolérances**

La tolérance d'une dimension est caractérisée non seulement par sa valeur (intervalle de tolérance), mais également par sa position par rapport à la ligne zéro, qui correspond à la cote nominale.

Dans le système ISO, cette position est indiquée par :

- des lettres majuscules pour les alésages
- des lettres minuscules pour les arbres

Ces lettres définissent la position de la zone de tolérance par rapport à la ligne zéro.

### XII.3. Positions normalisées

Le système ISO définit plusieurs positions de tolérance :

Pour les alésages : A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, JS, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC

Pour les arbres : a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc [1]

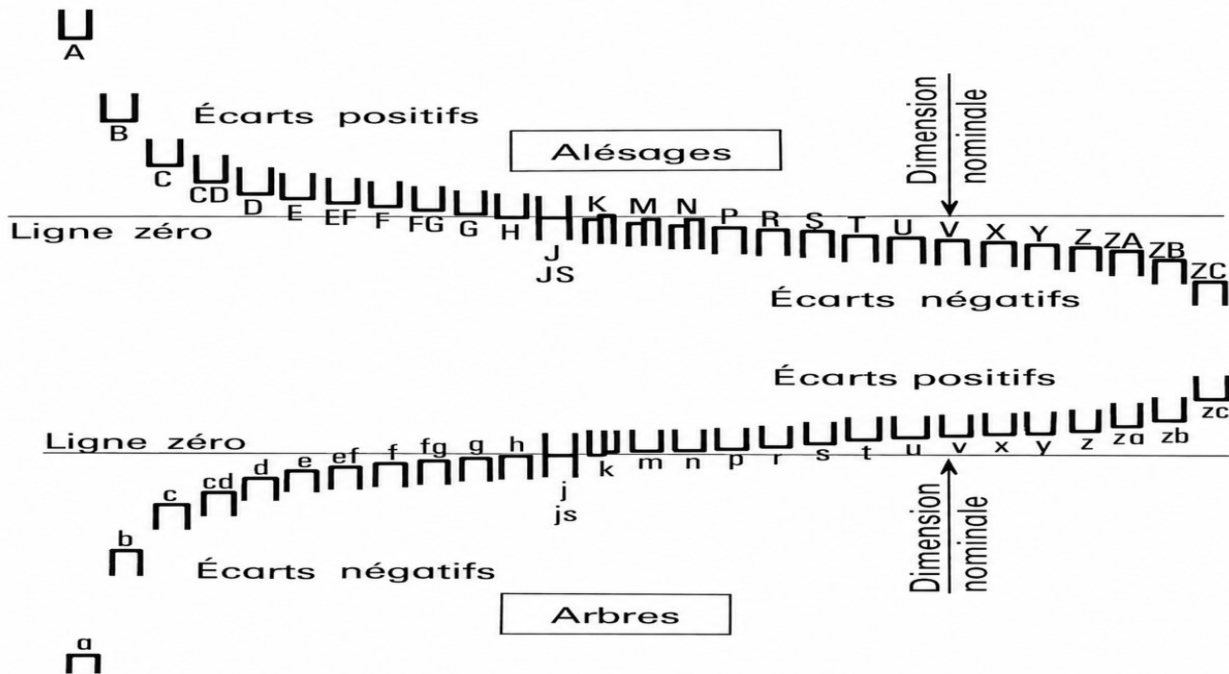


Figure I-6: Positions normalisées des zones de tolérance pour les arbres et les alésages [2]

### XII.4. Cas des alésages

La position de la zone de tolérance pour les alésages dépend de la lettre choisie :

A à G : la zone de tolérance est située entièrement au-dessus de la ligne zéro.

→ Tous les écarts sont positifs

H : le cas le plus courant

→ l'écart inférieur est nul ( $EI = 0$ )

→ La cote minimale est égale à la cote nominale

JS : zone de tolérance centrée sur la ligne zéro

→  $|ES| = |EI|$

J : zone de tolérance légèrement décalée autour de la ligne zéro

$$\rightarrow |ES| < |EI|$$

Tableau I-3: Ecartes des alésages (en microns) [4]

| Alésages    | Jusqu'à<br>3 inclus | de 3 à 6<br>inclus | de 6 à<br>10<br>inclus | de 10 à<br>18<br>Inclus | de 18 à<br>30<br>inclus | de 30 à<br>50<br>inclus | de 50 à<br>80<br>inclus | de 80 à<br>120<br>inclus | de 120<br>à 180<br>inclus | de 180<br>à 250<br>inclus | de 250<br>à 315<br>inclus | de 315<br>à 400<br>inclus | de 400<br>à 500<br>inclus |
|-------------|---------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>D 10</b> | + 60                | + 78               | + 98                   | + 120                   | + 149                   | + 180                   | + 220                   | + 260                    | + 305                     | + 355                     | + 400                     | + 440                     | + 480                     |
|             | + 20                | + 30               | + 40                   | + 50                    | + 65                    | + 80                    | + 100                   | + 120                    | + 145                     | + 170                     | + 190                     | + 210                     | + 230                     |
| <b>F 7</b>  | + 16                | + 22               | + 28                   | + 34                    | + 41                    | + 50                    | + 60                    | + 71                     | + 83                      | + 96                      | + 108                     | + 119                     | + 121                     |
|             | + 6                 | + 10               | + 13                   | + 16                    | + 20                    | + 25                    | + 30                    | + 36                     | + 43                      | + 50                      | + 56                      | + 62                      | + 68                      |
| <b>G 6</b>  | + 8                 | + 12               | + 14                   | + 17                    | + 20                    | + 25                    | + 29                    | + 34                     | + 39                      | + 44                      | + 49                      | + 54                      | + 60                      |
|             | + 2                 | + 4                | + 5                    | + 6                     | + 7                     | + 9                     | + 10                    | + 12                     | + 14                      | + 15                      | + 17                      | + 18                      | + 20                      |
| <b>H 6</b>  | + 6                 | + 8                | + 9                    | + 11                    | + 13                    | + 16                    | + 19                    | + 22                     | + 25                      | + 29                      | + 32                      | + 36                      | + 40                      |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 7</b>  | + 10                | + 12               | + 15                   | + 18                    | + 21                    | + 25                    | + 30                    | + 35                     | + 40                      | + 46                      | + 52                      | + 57                      | + 63                      |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 8</b>  | + 14                | + 18               | + 22                   | + 27                    | + 33                    | + 39                    | + 46                    | + 54                     | + 63                      | + 72                      | + 81                      | + 89                      | + 97                      |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 9</b>  | + 25                | + 30               | + 36                   | + 43                    | + 52                    | + 62                    | + 74                    | + 87                     | + 100                     | + 115                     | + 130                     | + 140                     | + 155                     |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 10</b> | + 40                | + 48               | + 58                   | + 70                    | + 84                    | + 100                   | + 120                   | + 140                    | + 160                     | + 185                     | + 210                     | + 230                     | + 250                     |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 11</b> | + 60                | + 75               | + 90                   | + 110                   | + 130                   | + 160                   | + 190                   | + 210                    | + 250                     | + 290                     | + 320                     | + 360                     | + 400                     |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 12</b> | + 100               | + 120              | + 150                  | + 180                   | + 210                   | + 250                   | + 300                   | + 350                    | + 400                     | + 460                     | + 520                     | + 570                     | + 630                     |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>H 13</b> | + 140               | + 180              | + 220                  | + 270                   | + 330                   | + 390                   | + 460                   | + 540                    | + 630                     | + 720                     | + 810                     | + 890                     | + 970                     |
|             | 0                   | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>J 7</b>  | + 4                 | + 6                | + 8                    | + 10                    | + 12                    | + 14                    | + 18                    | + 22                     | + 26                      | + 30                      | + 36                      | + 39                      | + 43                      |
|             | - 6                 | - 6                | - 7                    | - 8                     | - 9                     | - 11                    | - 12                    | - 13                     | - 14                      | - 16                      | - 16                      | - 18                      | - 20                      |
| <b>K 6</b>  | 0                   | + 2                | + 2                    | + 2                     | + 2                     | + 3                     | + 4                     | + 4                      | + 4                       | + 5                       | + 5                       | + 7                       | + 8                       |
|             | - 6                 | - 6                | - 7                    | - 9                     | - 11                    | - 13                    | - 15                    | - 18                     | - 21                      | - 24                      | - 27                      | - 29                      | - 32                      |
| <b>K 7</b>  | 0                   | + 3                | + 5                    | + 6                     | + 6                     | + 7                     | + 9                     | + 10                     | + 12                      | + 13                      | + 16                      | + 17                      | + 18                      |
|             | - 10                | - 9                | - 10                   | - 12                    | - 15                    | - 18                    | - 21                    | - 25                     | - 28                      | - 33                      | - 36                      | - 40                      | - 45                      |
| <b>M 7</b>  | - 2                 | 0                  | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
|             | - 12                | - 12               | - 15                   | - 18                    | - 21                    | - 25                    | - 30                    | - 35                     | - 40                      | - 46                      | - 52                      | - 57                      | - 63                      |
|             | - 4                 | - 4                | - 4                    | - 5                     | - 7                     | - 8                     | - 9                     | - 10                     | - 12                      | - 14                      | - 14                      | - 16                      | - 17                      |

|            |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>N 7</b> | - 14 | - 16 | - 19 | - 23 | - 28 | - 33 | - 39  | - 45  | - 52  | - 60  | - 66  | - 73  | - 80  |
| <b>N 9</b> | - 4  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|            | - 29 | - 30 | - 36 | - 43 | - 52 | - 62 | - 74  | - 87  | - 100 | - 115 | - 130 | - 140 | - 155 |
| <b>P 6</b> | - 6  | - 9  | - 12 | - 15 | - 18 | - 21 | - 26  | -30   | - 36  | - 41  | - 47  | - 51  | - 55  |
|            | - 12 | - 17 | - 21 | - 26 | - 31 | - 37 | - 45  | - 52  | - 61  | - 70  | - 79  | - 87  | - 95  |
| <b>P 7</b> | - 6  | - 8  | - 9  | - 11 | - 14 | - 17 | - 21  | - 24  | - 28  | - 33  | - 36  | - 41  | - 45  |
|            | - 16 | - 20 | - 24 | - 29 | - 35 | - 42 | - 51  | - 59  | - 68  | - 79  | - 88  | - 98  | - 108 |
| <b>P 9</b> | - 9  | - 12 | - 15 | - 18 | - 22 | - 26 | - 32  | - 37  | - 43  | - 50  | - 56  | - 62  | - 68  |
|            | - 31 | - 42 | - 51 | - 61 | - 74 | - 88 | - 106 | - 124 | - 143 | - 165 | - 186 | - 202 | - 223 |

**Tableau I-4: Ecartes des arbres (en micrones) [4]**

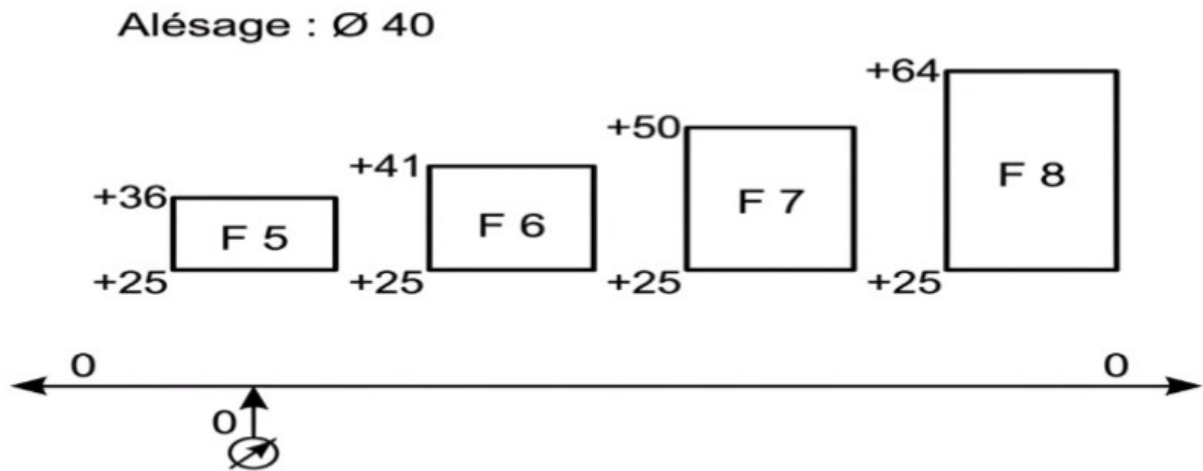
| <b>Arbres</b> | Jusqu'à<br>3 inclus | de 3 à<br>6<br>inclus | de 6 à<br>10<br>inclus | de 10<br>à 18<br>inclus | de 18<br>à 30<br>inclus | de 30<br>à 50<br>inclus | de 50<br>à 80<br>inclus | de 80<br>à 120<br>inclus | de<br>120 à<br>180<br>inclus | de<br>180 à<br>250<br>inclus | de<br>250 à<br>315<br>inclus | de<br>315 à<br>400<br>inclus | de<br>400 à<br>500<br>inclus |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>a 11</b>   | - 270               | - 270                 | - 280                  | - 290                   | - 300                   | - 320                   | - 360                   | - 410                    | - 580                        | - 820                        | - 1050                       | - 1350                       | - 1650                       |
|               | - 330               | - 345                 | -370                   | -400                    | - 430                   | - 470                   | - 530                   | - 600                    | - 710                        | - 950                        | - 1240                       | - 1560                       | - 1900                       |
| <b>c 11</b>   | - 60                | - 70                  | - 80                   | - 95                    | - 110                   | - 130                   | - 150                   | - 180                    | - 230                        | - 280                        | - 330                        | - 400                        | - 480                        |
|               | - 120               | - 145                 | - 170                  | - 205                   | - 240                   | - 280                   | - 330                   | - 390                    | - 450                        | - 530                        | - 620                        | - 720                        | - 840                        |
| <b>d 9</b>    | - 20                | - 30                  | - 40                   | - 50                    | - 65                    | - 80                    | - 100                   | - 120                    | - 145                        | - 170                        | - 190                        | - 210                        | - 230                        |
|               | - 45                | - 60                  | - 75                   | - 93                    | - 117                   | - 142                   | - 174                   | - 207                    | - 245                        | - 285                        | - 320                        | - 350                        | - 385                        |
| <b>d 10</b>   | - 20                | - 30                  | - 40                   | - 50                    | - 65                    | - 80                    | - 100                   | - 120                    | - 145                        | - 170                        | - 190                        | - 210                        | - 230                        |
|               | - 60                | - 78                  | - 98                   | - 120                   | - 149                   | - 180                   | - 220                   | - 250                    | - 305                        | - 355                        | - 400                        | - 440                        | - 480                        |
| <b>d 11</b>   | - 20                | - 30                  | - 40                   | - 50                    | - 65                    | - 80                    | - 100                   | - 120                    | - 145                        | - 170                        | - 190                        | - 210                        | - 230                        |
|               | - 80                | - 105                 | - 130                  | - 160                   | - 195                   | - 240                   | - 290                   | - 340                    | - 395                        | - 460                        | - 510                        | - 570                        | - 630                        |
| <b>e 7</b>    | - 14                | - 20                  | - 25                   | - 32                    | - 40                    | - 50                    | - 60                    | - 72                     | - 85                         | - 100                        | - 110                        | - 125                        | - 135                        |
|               | - 24                | - 32                  | - 40                   | - 50                    | - 61                    | - 75                    | - 90                    | - 107                    | - 125                        | - 146                        | - 162                        | - 182                        | - 198                        |
| <b>e 8</b>    | - 14                | - 20                  | - 25                   | - 32                    | - 40                    | - 50                    | - 60                    | - 72                     | - 85                         | - 100                        | - 110                        | - 125                        | - 135                        |
|               | - 28                | - 38                  | - 47                   | - 59                    | - 73                    | - 89                    | - 106                   | - 126                    | - 148                        | - 172                        | - 191                        | - 214                        | - 232                        |
| <b>e 9</b>    | - 14                | - 20                  | - 25                   | - 32                    | - 40                    | - 50                    | - 60                    | - 72                     | - 85                         | - 100                        | - 110                        | - 125                        | - 135                        |
|               | - 39                | - 50                  | - 61                   | - 75                    | - 92                    | - 112                   | - 134                   | - 159                    | - 185                        | - 215                        | - 240                        | - 265                        | - 290                        |
| <b>f 6</b>    | - 6                 | - 10                  | - 13                   | - 16                    | - 20                    | - 25                    | - 30                    | - 36                     | - 43                         | - 50                         | - 56                         | - 62                         | - 68                         |
|               | - 12                | - 18                  | - 22                   | - 27                    | - 33                    | - 41                    | - 49                    | - 58                     | - 68                         | - 79                         | - 88                         | - 98                         | - 108                        |
| <b>f 7</b>    | - 6                 | - 10                  | - 13                   | - 16                    | - 20                    | - 25                    | - 30                    | - 36                     | - 43                         | - 50                         | - 56                         | - 62                         | - 68                         |
|               | - 16                | - 22                  | - 28                   | - 34                    | - 41                    | - 50                    | - 60                    | - 71                     | - 83                         | - 96                         | - 106                        | - 119                        | - 131                        |
| <b>f 8</b>    | - 6                 | - 10                  | - 13                   | - 16                    | - 20                    | - 25                    | - 30                    | - 36                     | - 43                         | - 50                         | - 56                         | - 62                         | - 68                         |
|               | - 20                | - 28                  | - 35                   | - 43                    | - 53                    | - 64                    | - 76                    | - 90                     | - 106                        | - 122                        | - 137                        | - 151                        | - 165                        |
| <b>g 5</b>    | - 2                 | - 4                   | - 5                    | - 6                     | - 7                     | - 9                     | - 10                    | - 12                     | - 14                         | - 15                         | - 17                         | - 18                         | - 20                         |
|               | - 6                 | - 9                   | - 11                   | - 14                    | - 16                    | - 20                    | - 23                    | - 27                     | - 32                         | - 35                         | - 40                         | - 43                         | - 47                         |
| <b>g 6</b>    | - 2                 | - 4                   | - 5                    | - 6                     | - 7                     | - 9                     | - 10                    | - 12                     | - 14                         | - 15                         | - 17                         | - 18                         | - 20                         |
|               | - 8                 | - 12                  | - 14                   | - 17                    | - 20                    | - 25                    | - 29                    | - 34                     | - 39                         | - 44                         | - 49                         | - 54                         | - 60                         |

|            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| <b>g 7</b> | - 2  | - 4  | - 5  | - 6  | - 7  | - 9  | - 10 | - 12 | - 14 | - 15 | - 17 | - 18  | - 20  |
|            | - 12 | - 16 | - 20 | - 24 | - 28 | - 34 | - 40 | - 47 | - 54 | - 61 | - 69 | - 75  | - 83  |
| <b>g 8</b> | - 2  | - 4  | - 5  | - 6  | - 7  | - 9  | - 10 | - 12 | - 14 | - 15 | - 17 | - 18  | - 20  |
|            | - 16 | - 22 | - 27 | - 33 | - 40 | - 48 | - 56 | - 66 | - 74 | - 87 | - 98 | - 107 | - 117 |
| <b>h 5</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
|            | - 4  | - 5  | - 6  | - 8  | - 9  | - 11 | - 13 | - 15 | - 18 | - 20 | - 23 | - 25  | - 27  |
| <b>h 6</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
|            | - 6  | - 8  | - 9  | - 11 | - 13 | - 16 | - 19 | - 22 | - 25 | - 29 | - 32 | - 36  | - 40  |
| <b>h 7</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
|            | - 10 | - 12 | - 15 | - 18 | - 21 | - 25 | - 30 | - 35 | - 40 | - 46 | - 52 | - 57  | - 63  |
| <b>h 8</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
|            | - 14 | - 18 | - 22 | - 27 | - 33 | - 39 | - 46 | - 54 | - 63 | - 72 | - 81 | - 89  | - 97  |

# Chapitre I : SYSTEME ISO DE TOLERANCE

| Arbres       | Jusqu'à<br>3 inclus | de 3 à<br>6<br>inclus | de 6 à<br>10<br>inclus | de 10<br>à 18<br>inclus | de 18<br>à 30<br>inclus | de 30<br>à 50<br>inclus | de 50<br>à 80<br>inclus | de 80<br>à 120<br>inclus | de<br>120 à<br>180<br>inclus | de<br>180 à<br>250<br>inclus | de<br>250 à<br>315<br>inclus | de<br>315 à<br>400<br>inclus | de<br>400 à<br>500<br>inclus |
|--------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>h 9</b>   | 0                   | 0                     | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            |
|              | - 25                | - 30                  | - 36                   | - 43                    | - 52                    | - 62                    | - 74                    | - 87                     | - 100                        | - 115                        | - 130                        | - 140                        | - 155                        |
| <b>h 10</b>  | 0                   | 0                     | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            |
|              | - 40                | - 48                  | - 58                   | - 70                    | - 84                    | - 100                   | - 120                   | - 140                    | - 160                        | - 185                        | -210                         | - 230                        | - 250                        |
| <b>h 11</b>  | 0                   | 0                     | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            |
|              | - 60                | - 75                  | - 90                   | - 110                   | - 130                   | - 160                   | - 190                   | - 230                    | - 250                        | - 290                        | - 320                        | - 360                        | - 400                        |
| <b>h 13</b>  | 0                   | 0                     | 0                      | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       | 0                        | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            | 0                            |
|              | - 140               | - 180                 | - 220                  | - 270                   | - 330                   | - 390                   | - 460                   | - 540                    | - 630                        | - 720                        | - 810                        | - 890                        | - 970                        |
| <b>j 6</b>   | + 4                 | + 6                   | + 7                    | + 8                     | + 9                     | + 11                    | + 12                    | + 13                     | + 14                         | + 16                         | + 16                         | + 18                         | + 20                         |
|              | - 2                 | -2                    | - 2                    | - 3                     | - 4                     | - 5                     | - 7                     | - 9                      | - 11                         | - 13                         | - 16                         | - 18                         | - 20                         |
| <b>js 5</b>  | ± 2                 | ± 2,5                 | ± 3                    | ± 4                     | ± 4,5                   | ± 5,5                   | ± 6,5                   | ± 7,5                    | ± 9                          | ± 10                         | ± 11,5                       | ± 12,5                       | ± 13,5                       |
| <b>js 6</b>  | ± 3                 | ± 4                   | ± 4,5                  | ± 5,5                   | ± 6,5                   | ± 8                     | ± 9,5                   | ± 11                     | ± 12,5                       | ± 14,5                       | ± 16                         | ± 18                         | ± 20                         |
| <b>js 9</b>  | ± 12                | ± 15                  | ± 18                   | ± 21                    | ± 26                    | ± 31                    | ± 37                    | ± 43                     | ± 50                         | ± 57                         | ± 65                         | ± 70                         | ± 77                         |
| <b>js 11</b> | ± 30                | ± 37                  | ± 45                   | ± 55                    | ± 65                    | ± 80                    | ± 95                    | ± 110                    | ± 125                        | ± 145                        | ± 160                        | ± 180                        | ± 200                        |
| <b>k 5</b>   | + 4                 | + 6                   | + 7                    | + 9                     | + 11                    | + 13                    | + 15                    | + 18                     | + 21                         | + 24                         | + 27                         | + 29                         | + 32                         |
|              | 0                   | + 1                   | + 1                    | + 1                     | + 2                     | + 2                     | + 2                     | + 3                      | + 3                          | + 4                          | + 4                          | + 4                          | + 5                          |
| <b>k 6</b>   | + 6                 | + 9                   | + 10                   | + 12                    | + 15                    | + 18                    | + 21                    | + 25                     | + 28                         | +33                          | + 36                         | + 40                         | + 45                         |
|              | 0                   | + 1                   | + 1                    | + 1                     | + 2                     | + 2                     | + 2                     | + 3                      | + 3                          | + 4                          | + 4                          | + 4                          | + 5                          |
| <b>k 7</b>   | + 10                | + 13                  | + 16                   | + 19                    | + 23                    | + 27                    | + 32                    | + 38                     | + 43                         | + 50                         | + 56                         | + 61                         | + 68                         |
|              | 0                   | + 1                   | + 1                    | + 1                     | + 2                     | + 2                     | + 2                     | + 3                      | + 3                          | + 4                          | + 4                          | + 4                          | + 5                          |
| <b>m 5</b>   | + 6                 | + 9                   | + 12                   | + 15                    | + 17                    | + 20                    | + 24                    | + 28                     | + 33                         | + 37                         | + 43                         | + 46                         | + 50                         |
|              | + 2                 | + 4                   | + 6                    | + 7                     | + 8                     | + 9                     | + 11                    | + 13                     | + 15                         | + 17                         | + 20                         | + 21                         | + 23                         |
| <b>m 6</b>   | + 8                 | + 12                  | + 15                   | + 18                    | + 21                    | + 25                    | + 30                    | + 35                     | + 40                         | + 46                         | + 52                         | + 57                         | + 63                         |
|              | + 2                 | + 4                   | + 6                    | + 7                     | + 8                     | + 9                     | + 11                    | + 13                     | + 15                         | + 17                         | + 20                         | + 21                         | + 23                         |
| <b>m 7</b>   | + 12                | + 16                  | + 21                   | + 25                    | + 29                    | + 34                    | + 41                    | + 48                     | + 55                         | + 63                         | + 72                         | + 78                         | + 86                         |
|              | + 2                 | + 4                   | + 6                    | + 7                     | + 8                     | + 9                     | + 11                    | + 13                     | + 15                         | + 17                         | + 20                         | + 21                         | + 23                         |
| <b>n 6</b>   | + 10                | + 16                  | + 19                   | + 23                    | + 28                    | + 33                    | + 39                    | + 45                     | + 52                         | + 60                         | + 66                         | + 73                         | + 80                         |
|              | + 4                 | + 8                   | + 10                   | +12                     | + 15                    | + 17                    | + 20                    | + 23                     | + 27                         | + 31                         | + 34                         | + 37                         | + 40                         |
| <b>p 6</b>   | + 12                | + 20                  | + 24                   | + 29                    | + 35                    | + 42                    | + 51                    | + 59                     | + 68                         | + 79                         | + 88                         | + 98                         | + 108                        |
|              | + 6                 | + 12                  | + 15                   | + 18                    | + 22                    | + 26                    | + 32                    | + 37                     | + 43                         | + 50                         | + 56                         | + 62                         | + 68                         |
| <b>p 7</b>   | + 16                | + 24                  | + 30                   | + 36                    | + 43                    | + 51                    | + 62                    | + 72                     | + 83                         | + 96                         | + 108                        | + 119                        | + 131                        |
|              | + 6                 | + 12                  | + 15                   | + 18                    | + 22                    | + 26                    | + 32                    | + 37                     | + 43                         | + 50                         | + 56                         | + 62                         | + 68                         |

Exemple :



### **XIII. INSCRIPTION DES TOLÉRANCES**

Lors de la cotation d'une pièce, chaque dimension à usiner doit être accompagnée de sa cote nominale ainsi que de l'indication de la tolérance. Cette dernière peut être exprimée soit :

Par un symbole normalisé (exemple : f7)

Soit par les valeurs numériques des écarts supérieur et inférieur.

Exemples :

Ø45 f7

Ø45 +0,060 / +0

La première notation est généralement utilisée en production en série, où le contrôle est réalisé à l'aide de calibres limites.

La seconde est plutôt employée en production unitaire, où les mesures sont effectuées avec des instruments classiques.

#### **XIII.1.Cotation des ajustements**

Un ajustement est désigné par l'association d'une tolérance d'alésage et d'une tolérance d'arbre.

Exemple :

20 H7/g6

Cette désignation signifie :

- Diamètre nominal : 20 mm
- H : position de la tolérance de l'alésage (alésage normal)
- 7 : qualité de l'alésage
- g : position de la tolérance de l'arbre

- 6 : qualité de l'arbre

Cette notation permet de définir directement le type d'ajustement (jeu, serrage ou transition).

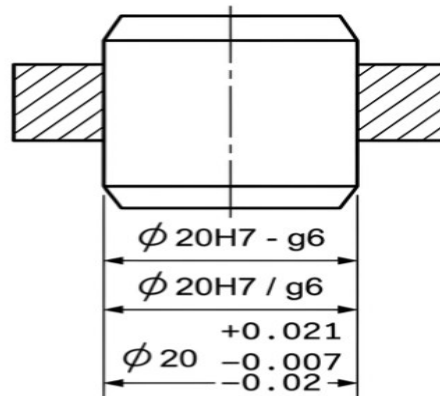


Figure I-7: Représentation d'un ajustement 20 H7/g6 entre alésage et arbre [1]

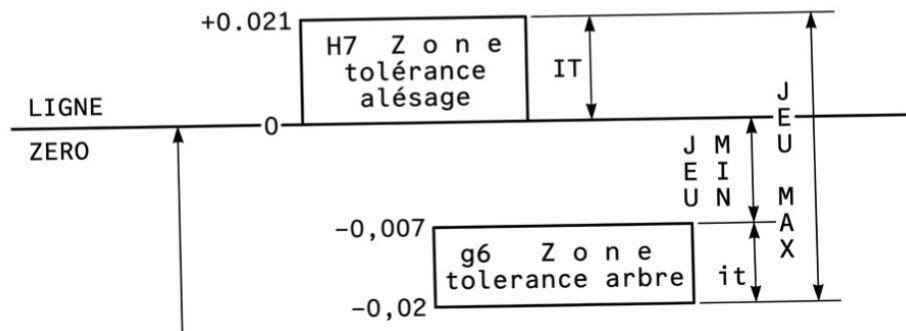


Figure I-8: Zones de tolérance de l'ajustement 20 H7/g6 par rapport à la ligne zéro [1]

## **XIV. FACTEURS DE CHOIX DES TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS**

Le choix des tolérances ne se fait pas au hasard. Il dépend de plusieurs critères influençant directement :

- la fabrication des pièces
- le fonctionnement de l'assemblage
- la durée de vie
- le coût de production

Par ailleurs, la rugosité des surfaces joue un rôle important. Une tolérance très faible perd de son intérêt si l'état de surface n'est pas adapté.

Ainsi, il existe une relation étroite entre précision dimensionnelle et qualité de surface. [1]

## **XIV.1. Méthode de choix d'un ajustement**

Lorsqu'on connaît les conditions de fonctionnement (jeu ou serrage), il est possible de déterminer l'ajustement correspondant en suivant une démarche structurée.

### **XIV.1.1 Données nécessaires**

\*cote nominale ( $C_n$ )

\*jeu maximum et minimum ( $J_{\max}$ ,  $J_{\min}$ )

\*ou serrage maximum et minimum ( $S_{\max}$ ,  $S_{\min}$ )

### **XIV.1.2 Étapes de détermination**

- **Calcul de la tolérance totale**

\*Ajustement avec jeu :

$$TA = J_{\max} - J_{\min}$$

\*Ajustement avec serrage :

$$TA = S_{\max} - S_{\min}$$

\*Ajustement incertain :

$$TA = S_{\max} - J_{\max}$$

- **Répartition des tolérances**

On répartit TA entre l'arbre et l'alésage de manière à vérifier :

$$IT + it \leq TA$$

En général, on choisit :

$$IT > it \text{ (l'alésage est moins précis que l'arbre)}$$

- **Choix de l'alésage**

On adopte souvent un alésage normal H, tel que :

$$EI = 0 \text{ et } ES = IT$$

- **Détermination de l'arbre**

Les écarts de l'arbre sont calculés selon le type d'ajustement :

\*Cas d'un jeu :

$$es = -J_{\min}$$

$$ei = es - it$$

\*Cas d'un serrage :

$$es = S_{\max}$$

$$ei = es - it$$

- **Vérification**

On choisit dans les tableaux l'arbre normalisé le plus proche, puis on vérifie :

Pour un jeu :

$$ES - ei \leq J_{\max}$$

$$EI - es \geq J_{\min}$$

Si les conditions ne sont pas satisfaites, il faut recommencer la répartition des tolérances. [1]

#### **XIV.2. Exemple d'application : Détermination d'un ajustement**

Données :

On considère un assemblage cylindrique de diamètre nominal  $\varnothing 70$  mm avec :

Jeu maximal :  $J_{\max} = 130 \mu\text{m}$

Jeu minimal :  $J_{\min} = 50 \mu\text{m}$

➤ Calcul de la tolérance d'ajustement

$$TA = J_{\max} - J_{\min} = 130 - 50 = 80 \mu\text{m}$$

Condition de choix :  $IT + it < TA$

➤ Premier choix des tolérances

Arbre (qualité 7) :  $it = 30 \mu\text{m}$

Alésage (qualité ) :  $IT = 80 \mu\text{m}$

Donc :  $IT + it = 110 \mu\text{m} > 80 \mu\text{m} \rightarrow$  non conforme

➤ Définition de l'alésage (système H)

Alésage :  $\varnothing 70 H8$

$$ES = +80 \mu\text{m}$$

$$EI = 0$$

➤ Détermination de l'arbre

$$es = -J_{\min} = -50 \mu\text{m}$$

$$ei = es - it = -50 - 30 = -80 \mu\text{m}$$

Arbre théorique :  $\varnothing 70 e7$

➤ Vérification des solutions normalisées

Deux solutions sont proposées :

\* $\varnothing 70 e7$

\* $\varnothing 70 f7$

Condition de jeu maximal :

\*Cas  $e7$  : non conforme

\*Cas f7 : conforme

Condition de jeu minimal :

\*Cas f7 : non conforme

→ Aucun arbre ne satisfait les deux conditions

Deuxième essai

1. Nouveau partage des tolérances

Arbre:  $it = 30 \mu\text{m}$

Alésage :  $IT = 30 \mu\text{m}$

$IT + it = 60 \mu\text{m} < 80 \mu\text{m} \rightarrow$  acceptable

2. Alésage

$\varnothing 70 \text{ H7}$

$ES = +30 \mu\text{m}$

$EI = 0$

3. Arbre

$es = -50 \mu\text{m}$

$ei = -80 \mu\text{m}$

Arbre théorique :  $\varnothing 70 \text{ e7}$

4. Vérification finale

$\varnothing 70 \text{ e7}$  : conforme

$\varnothing 70 \text{ f7}$  : non conforme

Conclusion

L'ajustement retenu est :

$\varnothing 70 \text{ H7} / \text{e7}$

## **XV. CONCLUSION**

À travers ce chapitre, on a compris que les tolérances sont très importantes dans la fabrication mécanique, parce qu'il est impossible d'obtenir une pièce avec une dimension parfaitement exacte. Les tolérances permettent donc de fixer les limites acceptables afin d'assurer le bon fonctionnement des pièces assemblées.

On a vu aussi que les ajustements servent à définir la relation entre l'arbre et l'alésage, que ce soit avec jeu, avec serrage ou incertain, selon l'utilisation demandée. Cela permet d'assurer un montage correct et une bonne interchangeabilité des pièces.

Enfin, l'étude des tolérances et des ajustements reste indispensable dans le domaine de la construction mécanique, car elle aide à améliorer la qualité des produits, faciliter le montage et diminuer les erreurs de fabrication.

  ***CHAPITRE 2 : LES***  
***AJUSTEMENTS***

---

## **I. INTRODUCTION**

Le deuxième chapitre de ce mémoire est consacré à l'étude des ajustements en mécanique. Cette partie est importante car elle permet de comprendre comment les pièces mécaniques s'assemblent entre elles et comment leurs dimensions influencent leur fonctionnement.

Les ajustements représentent la relation entre deux pièces, généralement un arbre et un alésage, lorsqu'elles sont montées ensemble. Selon la façon dont ces pièces interagissent, on peut obtenir différents types d'assemblages qui influencent directement la précision et la stabilité du système.

On distingue principalement trois types d'ajustements : l'ajustement avec jeu, où il existe un espace entre les pièces ; l'ajustement avec serrage, où les pièces sont montées avec une certaine pression ; et l'ajustement incertain, qui peut donner soit un jeu soit un serrage.

Le choix de l'ajustement est une étape importante dans la conception mécanique, car il permet d'assurer le bon fonctionnement des mécanismes et d'éviter les problèmes lors du montage ou de l'utilisation.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents types d'ajustements, expliquer leurs caractéristiques, puis montrer comment les déterminer et les interpréter dans des cas pratiques.

## **II. DÉFINITION DES AJUSTEMENTS**

Un ajustement en mécanique désigne la relation dimensionnelle entre deux pièces destinées à être assemblées, généralement un arbre et un alésage. Il caractérise la manière dont ces deux éléments s'emboîtent lors du montage et après assemblage.

Cette relation dépend des dimensions relatives des pièces et détermine le type de contact entre elles. Selon les cas, l'assemblage peut présenter un jeu, un serrage ou une situation intermédiaire. Ainsi, l'ajustement joue un rôle essentiel dans le comportement mécanique de l'ensemble, notamment en ce qui concerne la mobilité des pièces, leur maintien, ainsi que la précision du montage.

Le choix du type d'ajustement est donc une étape importante dans la conception mécanique, car il permet de garantir le bon fonctionnement du système, d'assurer la stabilité de l'assemblage et d'éviter les problèmes liés au montage ou à l'utilisation des pièces [6].

## **III. ÉLÉMENTS D'UN AJUSTEMENT**

Un ajustement est défini par deux éléments principaux :

- **L'arbre** : pièce mâle
- **L'alésage** : pièce femelle

Les dimensions de ces deux éléments déterminent la nature de l'ajustement

---

## **IV. TYPES D'AJUSTEMENTS**

On distingue généralement trois types principaux d'ajustements en mécanique, selon la relation dimensionnelle entre les deux pièces assemblées ;

### **IV.1 L'ajustement avec jeu**

Le jeu correspond à une situation où la différence entre les dimensions des pièces est toujours positive. Dans ce cas, il existe un espace entre l'arbre et l'alésage, ce qui permet un montage libre et un mouvement relatif entre les pièces.

**Exemple :**

**$\phi 16$  H8/f8**

Tolérances

**Alésage 16H8**

$$ES=+0,027 \text{ mm}$$

$$EI=0 \text{ mm}$$

Donc :

$$D_{\max}=16+0,027=16,027 \text{ mm}$$

$$D_{\min}=16+0=16,000 \text{ mm}$$

**Arbre 16f8**

$$es=-0,016 \text{ mm}$$

$$ei=-0,043 \text{ mm}$$

Donc :

$$d_{\max}=16-0,016=15,984 \text{ mm}$$

$$d_{\min}=16-0,043=15,957 \text{ mm}$$

Calcul du jeu

**Jeu maximal**

$$J_{\max}=D_{\max}-d_{\min}$$

$$J_{\max}=16,027-15,957$$

$$J_{\max}=0,070 \text{ mm}$$

**Jeu minimal**

$$J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$J_{\min} = 16,000 - 15,984$$

$$J_{\min} = 0,016 \text{ mm}$$

### Conclusion

Comme :

$$J_{\min} > 0$$

Alors l'ajustement est :

**Ajustement avec jeu**

L'arbre entre facilement dans l'alésage.

## IV.2 Ajustement avec serrage

Correspond à une situation où la différence est toujours négative. L'arbre est alors légèrement plus grand que l'alésage, ce qui entraîne un assemblage par pression. Les pièces sont maintenues fermement sans jeu.

**Exemple :**

**$\phi 20 \text{ H7/p6}$**

### Tolérances

#### Alésage 20H7

$$ES = +0,021 \text{ mm}$$

$$EI = 0 \text{ mm}$$

Donc :

$$D_{\max} = 20,021 \text{ mm}$$

$$D_{\min} = 20,000 \text{ mm}$$

#### Arbre 20p6

$$es = +0,035 \text{ mm}$$

$$ei = +0,022 \text{ mm}$$

Donc :

$$d_{\max} = 20,035 \text{ mm}$$

$$d_{\min} = 20,022 \text{ mm}$$

### Calcul

#### Jeu maximal

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$J_{\max} = 20,021 - 20,022$$

$$J_{\max} = -0,001 \text{ mm}$$

#### Jeu minimal

$$J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$J_{\min} = 20,000 - 20,035$$

$$J_{\min} = -0,035 \text{ mm}$$

### Conclusion

Comme :

$$J_{\max} < 0$$

Alors l'ajustement est :

**Ajustement avec serrage**

L'arbre est plus grand que l'alésage, donc il faut forcer le montage.

### IV.3 Ajustement incertain

C'est une situation intermédiaire. Selon les dimensions réelles des pièces, il peut être positif ou négatif. Ainsi, l'assemblage peut présenter soit un léger jeu, soit un serrage, en fonction des tolérances des pièces fabriquées.

**Exemple :**

**$\phi 20 \text{ H7/j6}$**

### Tolérances

**Alésage 20H7**

$$ES = +0,021 \text{ mm}$$

$$EI = 0 \text{ mm}$$

Donc :

$$D_{\max} = 20,021 \text{ mm}$$

$$D_{\min} = 20,000 \text{ mm}$$

### Arbre 20j6

$$es=+0,009 \text{ mm}$$

$$ei=-0,004 \text{ mm}$$

Donc :

$$d_{\max}=20,009 \text{ mm}$$

$$d_{\min}=19,996 \text{ mm}$$

### Calcul

#### Jeu maximal

$$J_{\max}=D_{\max}-d_{\min}$$

$$J_{\max}=20,021-19,996$$

$$J_{\max}=0,025 \text{ mm}$$

#### Jeu minimal

$$J_{\min}=D_{\min}-d_{\max}$$

$$J_{\min}=20,000-20,009$$

$$J_{\min}=-0,009 \text{ mm}$$

### Conclusion

On trouve :

$$J_{\max}>0$$

et

$$J_{\min}<0$$

Donc parfois il y a du jeu et parfois du serrage.

### Ajustement incertain

Il peut être :

- soit avec jeu,
- soit avec serrage.

## **V. CARACTÉRISTIQUES DES AJUSTEMENTS**

Les ajustements en mécanique sont caractérisés par la nature du contact entre les deux pièces assemblées, généralement un arbre et un alésage. Cette relation dépend des dimensions relatives des pièces et détermine leur comportement une fois montées.

Dans un ajustement avec jeu, les pièces ne sont pas en contact direct avant le montage. Il existe un espace entre elles, ce qui permet un mouvement relatif. Ce type d'ajustement est souvent utilisé lorsque les pièces doivent glisser ou tourner facilement l'une par rapport à l'autre.

Dans un ajustement avec serrage, les pièces sont en contact forcé. L'arbre est légèrement plus grand que l'alésage, ce qui crée une pression entre les surfaces. Ce type d'ajustement assure un maintien solide et empêche tout mouvement entre les pièces après assemblage.

Dans le cas d'un ajustement incertain, le contact entre les pièces dépend des dimensions réelles obtenues lors de la fabrication. Ainsi, l'assemblage peut présenter soit un léger jeu, soit un serrage. Ce type d'ajustement est utilisé lorsque la précision de fabrication peut varier.

Ces caractéristiques permettent de choisir le type d'ajustement le plus adapté en fonction des exigences fonctionnelles du système mécanique [7].

## **VI. REPRÉSENTATION DES AJUSTEMENTS**

Les ajustements sont représentés à l'aide de zones de tolérance :

- Position de la zone (lettres : H, h, g...)
- Qualité de fabrication (IT)

Exemple :

- H7 / h6
- H7 / g6

Chaque combinaison donne un type d'ajustement spécifique.

## **VII. CALCUL DES AJUSTEMENTS**

Le calcul des ajustements permet de déterminer la relation entre un arbre et un alésage à partir de leurs dimensions. Cette étape est importante pour savoir si l'assemblage donnera un jeu, un serrage ou un cas intermédiaire.

Pour faire ce calcul, on prend en compte les dimensions extrêmes de chaque pièce :

- Pour l'alésage : dimension minimale  $D_{min}$  et dimension maximale  $D_{max}$
- Pour l'arbre : dimension minimale  $d_{min}$  et dimension maximale  $d_{max}$

À partir de ces valeurs, on peut déterminer :

- Le jeu maximal : différence entre le plus grand alésage et le plus petit arbre
- Le jeu minimal : différence entre le plus petit alésage et le plus grand arbre

Cela permet ensuite d'identifier le type d'ajustement.

### VII.1. Formules utilisées

- $J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$
- $J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$

### VII.2. Interprétation

- Si  $J_{\min} > 0 \rightarrow$  ajustement avec jeu
- Si  $J_{\max} < 0 \rightarrow$  ajustement avec serrage
- Si  $J_{\min} < 0$  et  $J_{\max} > 0 \rightarrow$  ajustement incertain

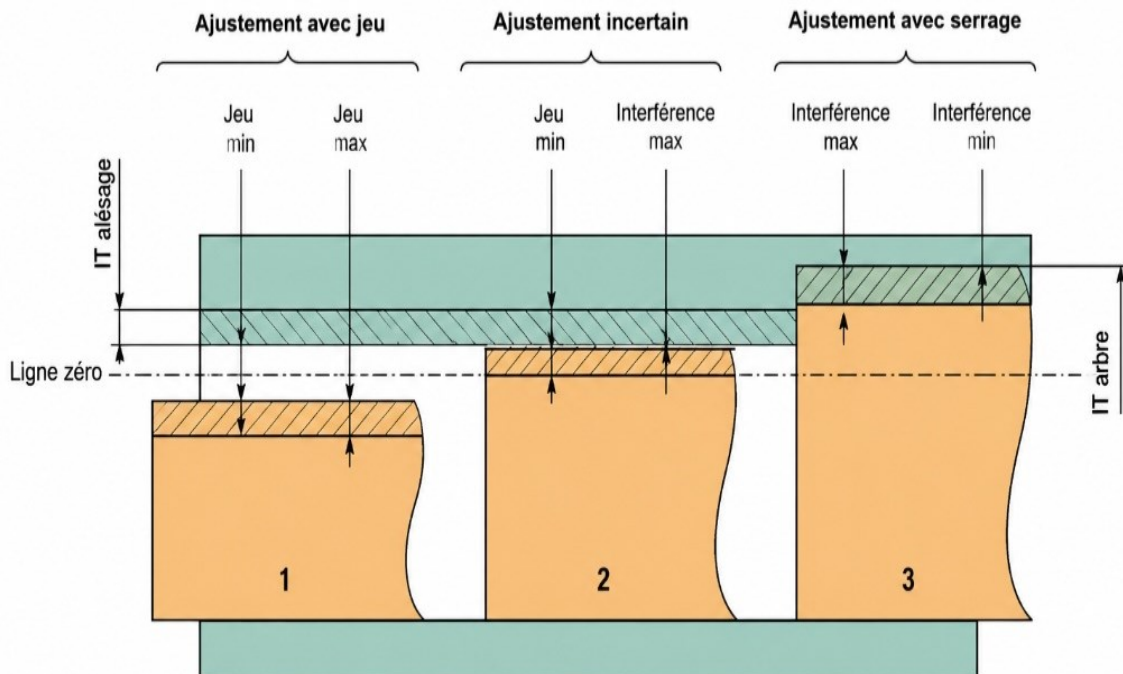


Figure II-1: Différents types d'ajustements : avec jeu, serrage et incertain [3]

### VII.3 Exemple simple

On considère :

- Alésage :  $D_{\min} = 50,00 \text{ mm}$  ;  $D_{\max} = 50,02 \text{ mm}$
- Arbre :  $d_{\min} = 49,98 \text{ mm}$  ;  $d_{\max} = 50,01 \text{ mm}$

Calcul :

- $J_{\max} = 50,02 - 49,98 = 0,04 \text{ mm}$
- $J_{\min} = 50,00 - 50,01 = -0,01 \text{ mm}$

On remarque que :

- $J_{\max} > 0$
- $J_{\min} < 0$

Donc l'ajustement est **incertain**, car on peut avoir soit un jeu soit un serrage selon les dimensions réelles.

## **VIII. CHOIX DES AJUSTEMENTS**

Le choix d'un ajustement se fait selon le rôle des pièces dans le mécanisme. Autrement dit, on ne choisit pas le même type d'ajustement si les pièces doivent bouger ou rester fixes après le montage.

Quand on a besoin d'un mouvement entre les pièces, comme dans les systèmes de rotation ou de glissement, on utilise généralement un ajustement avec jeu. Ce type permet aux pièces de fonctionner facilement sans blocage.

Par contre, si on veut que les pièces soient bien fixées entre elles, sans aucun mouvement, on choisit un ajustement avec serrage. Ce type d'assemblage est utilisé quand on cherche une bonne stabilité et une forte résistance.

L'ajustement incertain est utilisé dans certains cas où les conditions ne sont pas très strictes, ou quand les dimensions peuvent varier légèrement. Dans ce cas, on peut obtenir soit un jeu soit un serrage selon la fabrication.

Donc, le choix de l'ajustement est important, car il influence directement le fonctionnement et la durée de vie des pièces.

## **IX. REPRÉSENTATION DES AJUSTEMENTS**

Dans la pratique, les ajustements peuvent être représentés graphiquement pour mieux comprendre la relation entre l'arbre et l'alésage. Cette représentation permet de visualiser facilement les zones de jeu et de serrage.

On utilise souvent un schéma où l'on place les dimensions de l'arbre et de l'alésage sur une même échelle. Cela permet de voir directement si les zones se chevauchent (serrage) ou s'il existe un espace entre elles (jeu).

Cette méthode est très utile pour simplifier l'analyse et éviter les erreurs lors de la conception.

## **X. APPLICATION DES AJUSTEMENTS DANS L'INDUSTRIE**

Les ajustements sont utilisés dans plusieurs domaines industriels, notamment :

- Dans les moteurs (assemblage des arbres et des roulements)
- Dans les machines-outils
- Dans les systèmes de transmission

Chaque application nécessite un type d'ajustement précis pour garantir un bon fonctionnement.

## **XI. LIEN AVEC LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE**

Dans le cadre de ce travail, l'étude des ajustements ne se limite pas à leur compréhension théorique. Elle constitue aussi une base pour développer une méthode automatique permettant d'identifier le type d'ajustement à partir des données.

L'objectif est de traduire les règles de calcul en un programme informatique capable de donner rapidement le type d'ajustement, ce qui facilite le travail de conception.

## **XII. AJUSTEMENTS RECOMMANDÉS**

Dans la pratique industrielle, certains ajustements sont couramment utilisés en fonction de la nature des assemblages. Il est à noter que la majorité des ajustements recommandés sont basés sur le système de l'alésage normal H [1].

### **XII.1. Ajustements pour pièces mobiles**

Ces ajustements sont utilisés lorsque les pièces doivent se déplacer les unes par rapport aux autres.

- Ajustement libre (H11/d11) :

Utilisé lorsque le fonctionnement nécessite un jeu important.

- Ajustement tournant (H8/e8, H9/e9, H8/f7) :

Adapté aux pièces en rotation ou en glissement, avec un bon graissage, comme les guidages de grande longueur avec rotation.

- Ajustement glissant (H7/g6) :

Employé pour des guidages précis avec de faibles mouvements, notamment pour les mouvements de translation sur de petites longueurs.

Dans ces cas, le montage, le démontage ainsi que le graissage sont généralement faciles [1].

### **XII.2. Ajustements pour pièces fixes**

Ces ajustements concernent les assemblages où aucun mouvement relatif n'est souhaité.

- Ajustement juste glissant (H6/h5, H7/h6, H8/h7, H9/h8, H6/js5) :

Le montage peut être réalisé manuellement.

- Ajustement bloqué (H6/k5, H7/m6) :

Le montage nécessite l'utilisation d'un maillet.

Ces ajustements ne permettent pas la transmission d'efforts importants. Le démontage reste possible sans détérioration, mais le graissage est généralement absent.

- Ajustement pressé (H7/p6, H8/s7, H8/u7) :

Permet la transmission d'efforts élevés. Le montage est réalisé à la presse et l'assemblage est généralement indémontable.

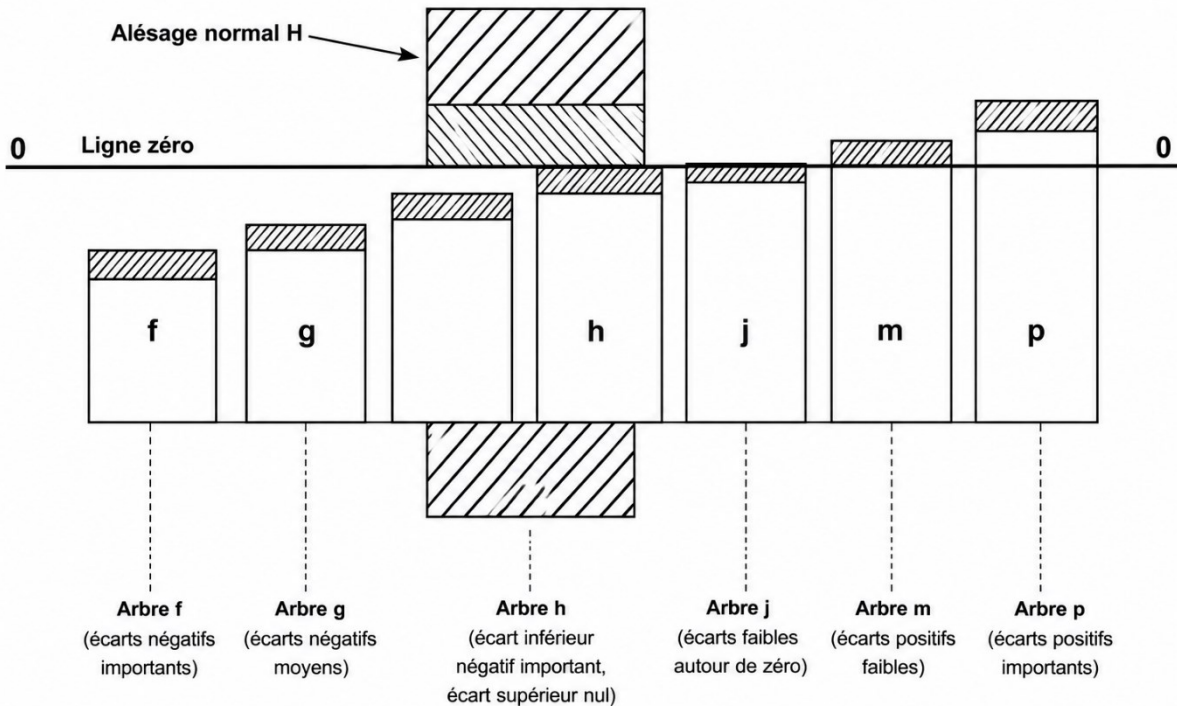


Figure II-2: Position des zones de tolérance des arbres dans le système à alésage normal H [1]

### **XIII. PRINCIPALES MÉTHODES DE REALISATION DES AJUSTEMENTS AVEC SERRAGE**

Un ajustement avec serrage est obtenu lorsque la dimension réelle de l'arbre est supérieure à celle de l'alésage :

$$C(\text{arbre}) > C(\text{alésage})$$

Plusieurs méthodes permettent de réaliser ce type d'assemblage :

#### **XIII.1 Emmanchement forcé à froid**

##### **XIII.1.1. Au maillet ou au marteau :**

Utilisé pour des serrages faibles et des surfaces de contact réduites. Les chocs permettent d'insérer l'arbre dans l'alésage [1].

##### **XIII.1.2. À la presse :**

Employé lorsque le serrage est important ou pour des pièces de grandes dimensions. Cette méthode permet d'exercer des efforts élevés [1].

#### **XIII.2. Emmanchement par dilatation de l'alésage**

Cette méthode consiste à chauffer l'alésage afin de provoquer sa dilatation. Le montage se fait alors facilement avec jeu, puis le serrage est obtenu lors du refroidissement.

Ce procédé est appelé frettage à chaud. Il nécessite toutefois de respecter les limites élastiques des matériaux [1].

Quelques coefficients de dilatation :

- Acier :  $12 \mu\text{m/m/}^{\circ}\text{C}$
- Laiton :  $18 \mu\text{m/m/}^{\circ}\text{C}$
- Alliage d'aluminium :  $23 \mu\text{m/m/}^{\circ}\text{C}$
- Alliage de magnésium :  $25 \mu\text{m/m/}^{\circ}\text{C}$

### **XIII.3. Emmanchement par contraction de l'arbre**

Dans ce cas, l'arbre est refroidi (souvent à l'aide d'azote liquide), ce qui entraîne une diminution de son diamètre. L'assemblage devient alors facile, et le serrage apparaît lorsque la pièce revient à température ambiante.

Ce procédé est notamment utilisé dans certaines applications comme le chemisage des cylindres de moteurs [1].

## **XIV. CONCLUSION**

Dans ce chapitre, on a présenté les notions principales liées aux ajustements. On a vu les différents types d'ajustements, leurs caractéristiques, ainsi que la méthode de leur détermination déterminer à partir des dimensions.

Ces éléments sont importants pour bien comprendre comment les pièces mécaniques s'assemblent. Ils vont aussi servir de base pour la suite du travail, surtout pour la partie pratique où nous allons automatiser la reconnaissance des ajustements.

  ***CHAPITRE 3 :***  
***RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE***  
***DES AJUSTEMENTS***

## **I.INTRODUCTION**

Dans le domaine de la construction mécanique, le calcul des ajustements ISO représente une étape essentielle pour garantir l'assemblage correct des pièces mécaniques. Les calculs manuels des dimensions limites, des jeux et des serrages nécessitent beaucoup de temps et peuvent entraîner des erreurs de calcul, surtout lors de l'utilisation des tableaux normalisés ISO.

Afin de faciliter cette opération, un programme a été réalisé en langage Python permettant d'automatiser les calculs des ajustements ISO à partir des données normalisées des arbres et des alésages. Ce programme permet également d'afficher les résultats sous forme numérique et graphique afin de simplifier l'analyse des ajustements mécaniques.

L'objectif principal de ce nouveau programme est de :

- automatiser les calculs des ajustements ISO ;
- réduire les erreurs de calcul ;
- améliorer la rapidité d'exécution ;
- fournir une représentation claire des résultats obtenus.

## **II. ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT**

Le programme a été développé à l'aide du langage de programmation Python grâce à sa simplicité d'utilisation et sa capacité de traitement des données numériques.

### **II.1. Logiciel et matériel**

Le matériel utilisé pour la programmation est un :

- Micro-ordinateur avec un processeur i5 8ème génération
- Et 8.00 Go de RAM.
- Logiciel utilisé est python 3.13
- Les principales bibliothèques utilisées sont :

### **II.2. Bibliothèque Openpyxl**

La bibliothèque Openpyxl permet la lecture des fichiers Excel contenant les tableaux normalisés ISO des arbres et des alésages. Elle facilite l'extraction automatique des écarts supérieurs et inférieurs correspondant aux ajustements choisis.

### **II.3. Bibliothèque Matplotlib**

Matplotlib est utilisée pour la génération graphique des résultats. Cette bibliothèque permet d'afficher les dimensions limites, les jeux ainsi que les types d'ajustements dans une fiche graphique claire et lisible.

## **III. PRINCIPE GÉNÉRAL DU PROGRAMME**

Le programme fonctionne selon plusieurs étapes successives. Après l'exécution, l'utilisateur introduit le diamètre nominal ainsi que le type d'ajustement souhaité, par exemple H8/f8.

Le programme effectue ensuite automatiquement :

- la lecture des tableaux ISO depuis le fichier Excel ;
- la recherche de la plage dimensionnelle correspondante ;
- l'extraction des écarts normalisés ;
- le calcul des dimensions limites ;
- le calcul des jeux maximal et minimal ;
- la détermination du type d'ajustement ;
- l'affichage des résultats numériques et graphiques.

Cette automatisation permet d'obtenir rapidement des résultats précis conformément aux normes ISO.

#### **IV. ORGANIGRAMME DE FONCTIONNEMENT DU PROGRAMME**

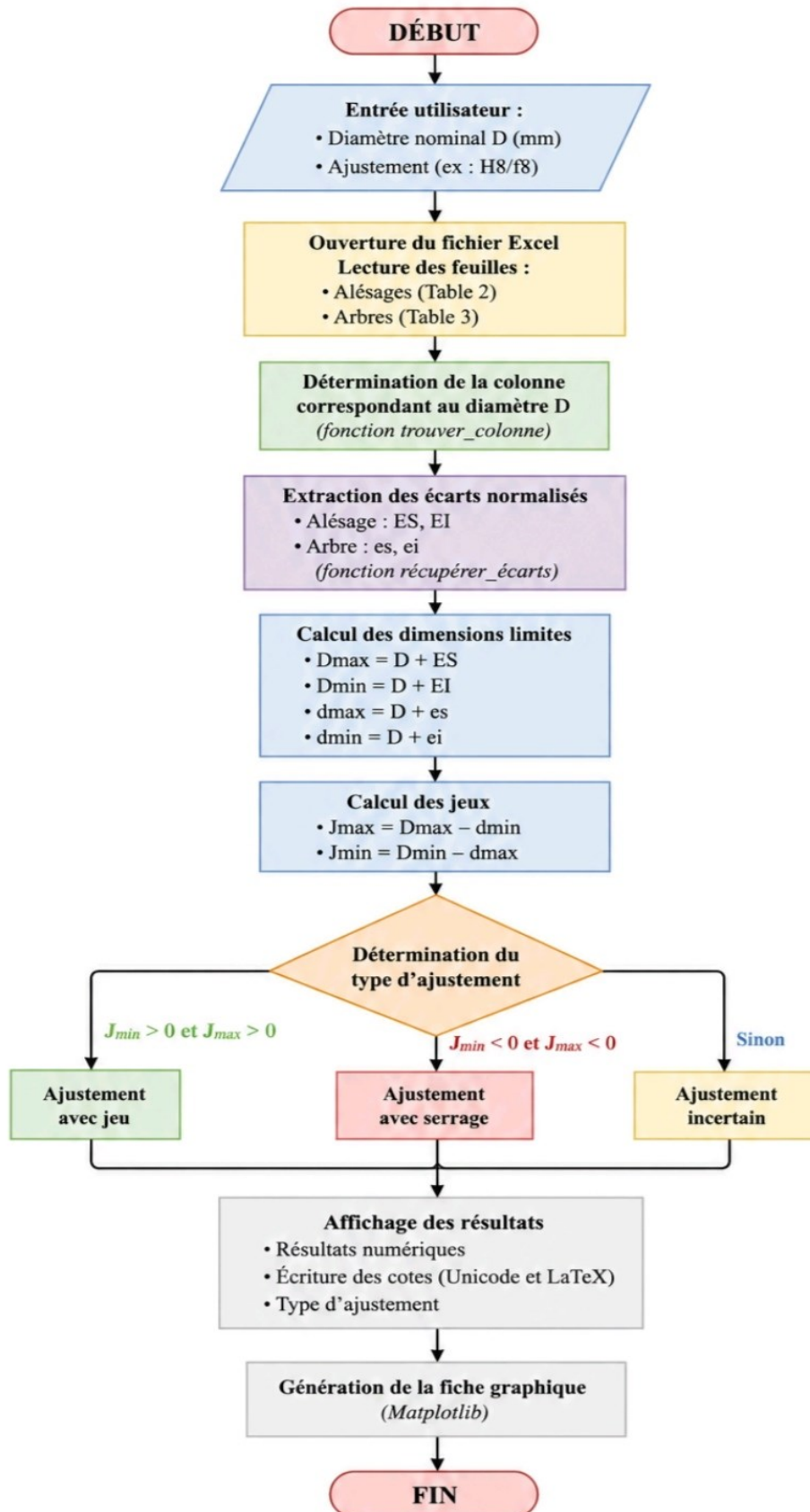


Figure III-1:Organigramme de fonctionnement du programme

---

## **V. LECTURE DES DONNÉES ISO DEPUIS EXCEL**

Les tableaux ISO des alésages et des arbres sont stockés dans un fichier Excel contenant les différentes tolérances normalisées.

Le programme utilise la fonction `load_workbook()` afin d'ouvrir le fichier Excel et accéder automatiquement aux feuilles contenant :

- les données des alésages ;
- les données des arbres.

Cette méthode permet d'éviter la saisie manuelle des tableaux et facilite la mise à jour des données normalisées.

## **VI. DÉTERMINATION AUTOMATIQUE DE LA PLAGE DIMENSIONNELLE**

Après l'introduction du diamètre nominal, le programme recherche automatiquement la colonne correspondant à l'intervalle dimensionnel approprié dans les tableaux ISO.

Une fonction spécifique analyse les différentes plages de dimensions afin d'identifier la colonne exacte correspondant au diamètre introduit par l'utilisateur.

Cette opération permet d'obtenir les valeurs normalisées adaptées à chaque dimension nominale.

## **VII. EXTRACTION DES ÉCARTS NORMALISÉ**

Une fois la colonne identifiée, le programme extrait automatiquement :

- l'écart supérieur .
- l'écart inférieur .

Pour l'alésage et pour l'arbre.

Les valeurs récupérées dans les tableaux ISO sont exprimées initialement en micromètres puis converties automatiquement en millimètres afin de simplifier les calculs.

## **VIII.CALCUL DES DIMENSIONS LIMITES**

Les dimensions maximales et minimales de l'alésage sont calculées automatiquement à partir du diamètre nominal et des écarts normalisés.

Pour l'alésage :

$$D_{\max}=D+ES$$

$$D_{\min}=D+EI$$

Avec :

- D : diamètre nominal .
- ES : écart supérieur .
- EI : écart inférieur.

Pour l'arbre :

$$d_{\max}=D+es$$

$$d_{\min}=D+ei$$

Avec :

- es : écart supérieur de l'arbre.
- ei : écart inférieur de l'arbre.

## **IX. CALCUL DU JEU ET DÉTERMINATION DU TYPE D'AJUSTEMENT**

Le programme calcule automatiquement le jeu minimal et le jeu maximal entre l'arbre et l'alésage.

Le jeu minimal est donné par :

$$J_{\min}=D_{\min}-d_{\max}$$

Le jeu maximal est donné par :

$$J_{\max}=D_{\max}-d_{\min}$$

Selon les valeurs obtenues, le programme détermine automatiquement le type d'ajustement :

- Ajustement avec jeu ;
- Ajustement avec serrage ;
- Ajustement incertain.

Cette classification facilite l'analyse mécanique de l'assemblage étudié.

## **X. AFFICHAGE DES RÉSULTATS**

Le programme affiche les résultats sous plusieurs formes afin de faciliter leur interprétation.

Les résultats numériques affichés comprennent :

- les dimensions maximales et minimales.
- les jeux maximal et minimal .
- le type d'ajustement .

Le programme génère également une écriture normalisée des cotes ISO utilisant les indices et exposants Unicode afin d'obtenir une représentation proche des notations industrielles normalisées.

---

## **XI. GÉNÉRATION GRAPHIQUE DES RESULTATS**

Afin d'améliorer la visualisation des résultats, le programme utilise la bibliothèque Matplotlib pour générer automatiquement une fiche graphique d'ajustement ISO.

Cette fiche contient :

- les dimensions limites ;
- les jeux calculés ;
- les cotes ISO ;
- le type d'ajustement.

L'affichage graphique facilite la compréhension des résultats et améliore la présentation des calculs dans l'étude mécanique.

## **XII. CONCLUSION**

Le programme réalisé en Python a permis d'automatiser efficacement le calcul des ajustements ISO en utilisant les tableaux normalisés des arbres et des alésages.

Ce programme offre plusieurs avantages :

- rapidité d'exécution .
- précision des calculs .
- réduction des erreurs humaines.
- affichage clair des résultats .
- génération automatique des représentations graphiques.

L'utilisation de ce nouveau programme constitue une solution pratique pour faciliter l'étude des ajustements mécaniques dans le domaine de la construction mécanique.

  ***CHAPITRE 4 : APPLICATION***  
***DU PROGRAMME***

## I.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons l'application réalisée sous Python pour automatiser les calculs des ajustements mécaniques. Le programme développé permet de déterminer automatiquement le type d'ajustement entre l'arbre et l'alésage à partir des dimensions introduites.

Afin de vérifier le bon fonctionnement du programme trois essais différents ont été réalisés :

- un ajustement avec serrage
- un ajustement avec jeu
- un ajustement incertain

Les résultats obtenus permettent d'analyser le comportement du programme et de confirmer la précision des calculs effectués.

## II.PROGRAMMATION SUR PYTHON

### II.1. Programme

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Sun Mar 15 14:49:41 2026

@author: HP
"""

from openpyxl import load_workbook
import matplotlib.pyplot as plt

# 1 ouvrir le fichier Excel et accéder aux feuilles
wb = load_workbook(r"C:\Users\tassili\Downloads\Telegram Desktop\ajustements
iso.xlsx")
Alésages = wb["Table 2"]
Arbres = wb["Table 3"]

# 2Entrée utilisateur
D = float(input("Diamètre nominal (mm) : "))
Ajustement = input("Ajustement (ex: H8/f8) : ")
Alésage_code, Arbre_code = Ajustement.split("/")

# 3 Fonction pour trouver la colonne correspondant au diamètre
def trouver_colonne(sheet, D):
    for col, cell in enumerate(sheet[1], start=1):
        if cell.value:
            texte = str(cell.value)
            if "Jusqu'à" in texte:
                max_val =
float(texte.replace("Jusqu'à", "").replace("inclus", "").strip())
                if D <= max_val:
                    return col
            elif "de" in texte:
                parts = [float(s) for s in
texte.replace("de", "").replace("à", "").replace("inclus", "").split()]
```

```

        if parts[0] < D <= parts[1]:
            return col
    return len(sheet[1])

col = trouver_colonne(Alésages, D)

# 4Fonction pour récupérer les écarts
def récupérer_écarts(sheet, code, col):
    for row in range(2, sheet.max_row):
        valeur_code = sheet.cell(row=row, column=1).value
        if valeur_code and str(valeur_code).replace(" ", "").upper() ==
code.upper():
            upper = sheet.cell(row=row, column=col).value
            lower = sheet.cell(row=row+1, column=col).value
            return float(upper)/1000, float(lower)/1000 # conversion microns → mm
    raise ValueError(f"Code {code} non trouvé dans la feuille.")

Alésage_upper, Alésage_lower = récupérer_écarts(Alésages, Alésage_code, col)
Arbre_upper, Arbre_lower = récupérer_écarts(Arbres, Arbre_code, col)

# 5Calcul des dimensions et du jeu
def calculer_jeu(D, Alésage_upper, Alésage_lower, Arbre_upper, Arbre_lower):
    Dmax = D + Alésage_upper
    Dmin = D + Alésage_lower
    dmax = D + Arbre_upper
    dmin = D + Arbre_lower
    Jmax = Dmax - dmin
    Jmin = Dmin - dmax
    if Jmin > 0 and Jmax > 0:
        Type_Ajustement = "Ajustement avec jeu"
    elif Jmin < 0 and Jmax < 0:
        Type_Ajustement = "Ajustement avec serrage"
    else:
        Type_Ajustement = "Ajustement incertain"
    return Dmin, Dmax, dmin, dmax, Jmin, Jmax, Type_Ajustement

Dmin, Dmax, dmin, dmax, Jmin, Jmax, Type_Ajustement = calculer_jeu(D,
Alésage_upper, Alésage_lower, Arbre_upper, Arbre_lower)

# 6Affichage simple
print("\n ***** Résultats: ***** ")
print("Alésage:")
print("Alésage_upper=",Alésage_upper,)
print("Alésage_lower=",Alésage_lower,)
print(" Dmax = D" "+" "Alésage_upper" "=",D,"+" ,Alésage_upper,"=", Dmax ,"mm")
print(" Dmin=",D,"+" ,Alésage_lower,"=", Dmin ,"mm")
print("Arbre:")
print("Arbre_upper=",Arbre_upper,)
print("Arbre_lower=",Arbre_lower,)
print(" dmax=",D, "+" ,Arbre_upper,"=", dmax ,"mm")

```

```

print(" dmin=",D, "+" ,Arbre_lower,"=", dmax ,"mm")
print("Jeu max/min")
print("Jeu max =" ,Dmax, "-" ,dmin,)
print("Jeu min =" ,Dmin, "-" ,dmax,)
print(f"Jeu min = {Jmin:.3f} mm   Jeu max = {Jmax:.3f} mm")
print(f"Jeu min = {Jmin*1000:.3f} μm   Jeu max = {Jmax*1000:.3f} μm")
print("Type d'ajustement:", Type_Ajustement)

# dictionnaires Unicode
sup_map = str.maketrans("0123456789+-.", "0̄1̄2̄3̄4̄5̄6̄7̄8̄9̄+̄-̄.")
sub_map = str.maketrans("0123456789+-.", "0̂1̂2̂3̂4̂5̂6̂7̂8̂9̂+̂-̂.")

def to_superscript(text):
    return str(text).translate(sup_map)

def to_subscript(text):
    return str(text).translate(sub_map)

def afficher_cote_unicode(nominal, upper, lower):
    up = f"{upper:+.3f}"
    low = f"{lower:.3f}"
    return f"{nominal:.0f}{to_superscript(up)}{to_subscript(low)}"
print("\n--- Écriture des cotes (Unicode) ---\n")
print("Alésage :", afficher_cote_unicode(D, Alésage_upper, Alésage_lower))
print("Arbre   :", afficher_cote_unicode(D, Arbre_upper, Arbre_lower))

# =====
# Format LaTeX graphique
# =====
def format_latex_cote(nominal, upper, lower):
    nominal_str = f"{nominal:.0f}"

    if abs(upper) < 1e-9:
        upper_str = "0"
    else:
        upper_str = f"{upper:+.3f}"

    if abs(lower) < 1e-9:
        lower_str = "0"
    else:
        lower_str = f"{lower:+.3f}"

    return rf"${nominal_str}_{lower_str}^{upper_str}$"

# =====
# Génération des textes ISO
# =====
texte_alésage = format_latex_cote(D, Alésage_upper, Alésage_lower)
texte_arbre   = format_latex_cote(D, Arbre_upper, Arbre_lower)

```

```

# =====
# Affichage console
# =====
print("\n ***** Résultats ***** ")
print("Alésage: Dmin =", Dmin, "mm, Dmax =", Dmax, "mm")
print("Arbre : dmin =", dmin, "mm, dmax =", dmax, "mm")
print(f"Jeu min = {Jmin:.3f} mm   Jeu max = {Jmax:.3f} mm")
print(f"Jeu min = {Jmin*1000:.3f} µm   Jeu max = {Jmax*1000:.3f} µm")
print("Type d'ajustement :", Type_Ajustement)

print("\n--- Écriture des cotes (Unicode) ---")
print("Alésage :", afficher_cote_unicode(D, Alésage_upper, Alésage_lower))
print("Arbre   :", afficher_cote_unicode(D, Arbre_upper, Arbre_lower))
import matplotlib.patches as patches

# =====
# Création figure
# =====
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,7))

# Cadre principal
rect = patches.Rectangle(
    (0.03, 0.05), 0.94, 0.90,
    linewidth=2,
    edgecolor='black',
    facecolor='none'
)
ax.add_patch(rect)

# =====
# Titre
# =====
plt.text(
    0.27, 0.88,
    "Fiche D'ajustement ISO", fontsize=26, weight='bold', color='red')

# =====
# Résultats numériques
# =====
plt.text(0.08, 0.80, f"Dmin = {Dmin:.3f} mm", fontsize=24)
plt.text(0.55, 0.80, f"Dmax = {Dmax:.3f} mm", fontsize=24)

plt.text(0.08, 0.72, f"dmin = {dmin:.3f} mm", fontsize=24)
plt.text(0.55, 0.72, f"dmax = {dmax:.3f} mm", fontsize=24)

plt.text(0.08, 0.62, f"Jeu minimum = {Jmin:.3f} mm = {Jmin*1000:.1f} µm", fontsize=24)

plt.text(0.08, 0.54, f"Jeu maximum = {Jmax:.3f} mm = {Jmax*1000:.1f} µm", fontsize=24)

```

```

# =====
# Ligne séparation
# =====
plt.plot([0.05, 0.95], [0.47, 0.47], linewidth=2, color='black')

# =====
# Cotes ISO
# =====
plt.text(0.08, 0.34, "Alésage :", fontsize=26, weight='bold')
plt.text(0.30, 0.34, texte_alésage, fontsize=26, color='red')

plt.text(0.08, 0.20, "Arbre :", fontsize=26, weight='bold')
plt.text(0.30, 0.20, texte_arbre, fontsize=26, color='red')

# =====
# Type ajustement
# =====
plt.text(0.12, 0.08, f"Type D'ajustement : {Type_Ajustement}",
         fontsize=26, weight='bold', color='blue')

# =====
# Finalisation
# =====
ax.axis("off")
plt.tight_layout()
plt.show()

```

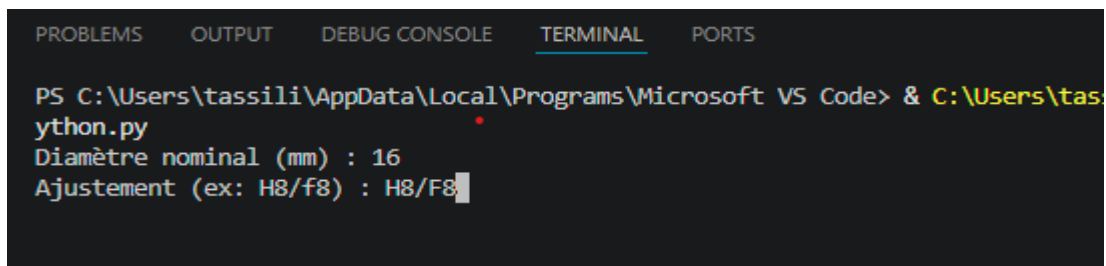
Figure IV-1: Code Python développé pour le calcul des ajustements mécaniques

## II.2. Exécution

Cette partie est consacrée à l'implémentation du programme Python sur les exemples étudiés dans le chapitre 2 à l'aide de méthodes analytiques, afin de vérifier la cohérence des résultats, effectuer une comparaison et valider l'efficacité du programme développé.

### II.2.1. Essai n°1 : Ajustement avec jeu

#### ✓ Exemple : $\phi 16$ H8/f8



```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS

PS C:\Users\tassili\AppData\Local\Programs\Microsoft VS Code> & C:\Users\tas
python.py
Diamètre nominal (mm) : 16
Ajustement (ex: H8/f8) : H8/F8

```

Figure IV-2: Entrée des données de l'ajustement avec jeu ( $\phi 16$  H8/f8)

✓ **Sortie console**

```
***** Résultats: *****
Alésage:
Alésage_upper= 0.027
Alésage_lower= 0.0
Dmax = D+Alésage_upper= 16.0 + 0.027 = 16.027 mm
Dmin= 16.0 + 0.0 = 16.0 mm
Arbre:
Arbre_upper= -0.016
Arbre_lower= -0.043
dmax= 16.0 + -0.016 = 15.984 mm
dmin= 16.0 + -0.043 = 15.937 mm
Jeu max/min
Jeu max = 16.027 - 15.957
Jeu min = 16.0 - 15.984
Jeu min = 0.016 mm   Jeu max = 0.070 mm
Jeu min = 16.000 µm   Jeu max = 70.000 µm
Type d'ajustement: Ajustement avec jeu
```

Figure IV-3: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement avec jeu

✓ **Visualisation graphique**

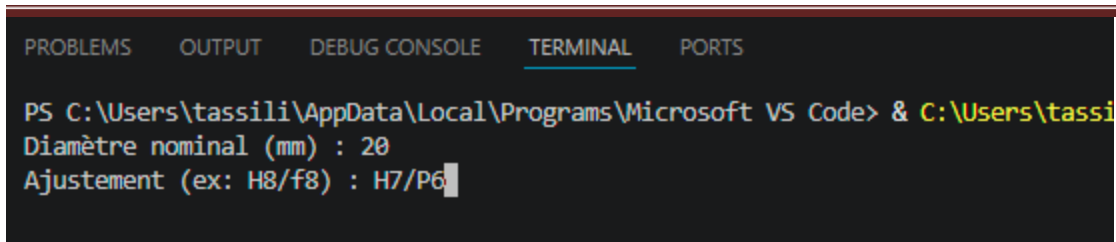
| <b>Fiche D'ajustement ISO</b>                  |                                          |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Dmin = 16.000 mm                               | Dmax = 16.027 mm                         |
| dmin = 15.957 mm                               | dmax = 15.984 mm                         |
| Jeu minimum = 0.016 mm = 16.0 µm               |                                          |
| Jeu maximum = 0.070 mm = 70.0 µm               |                                          |
| <hr/>                                          |                                          |
| <b>Alésage :</b>                               | <b><math>16^{+0.027}_0</math></b>        |
| <b>Arbre :</b>                                 | <b><math>16^{-0.016}_{-0.043}</math></b> |
| <b>Type D'ajustement : Ajustement avec jeu</b> |                                          |

Figure IV-4: Représentation graphique des résultats de l'ajustement avec jeu

Dans la premier essai, l'alésage est plus grand que l'arbre, ce qui permet un mouvement libre entre les deux pièces.

## II.2.2. Essai n°2 : Ajustement avec serrage

✓ **Exemple :  $\phi 20$  H7/p6**



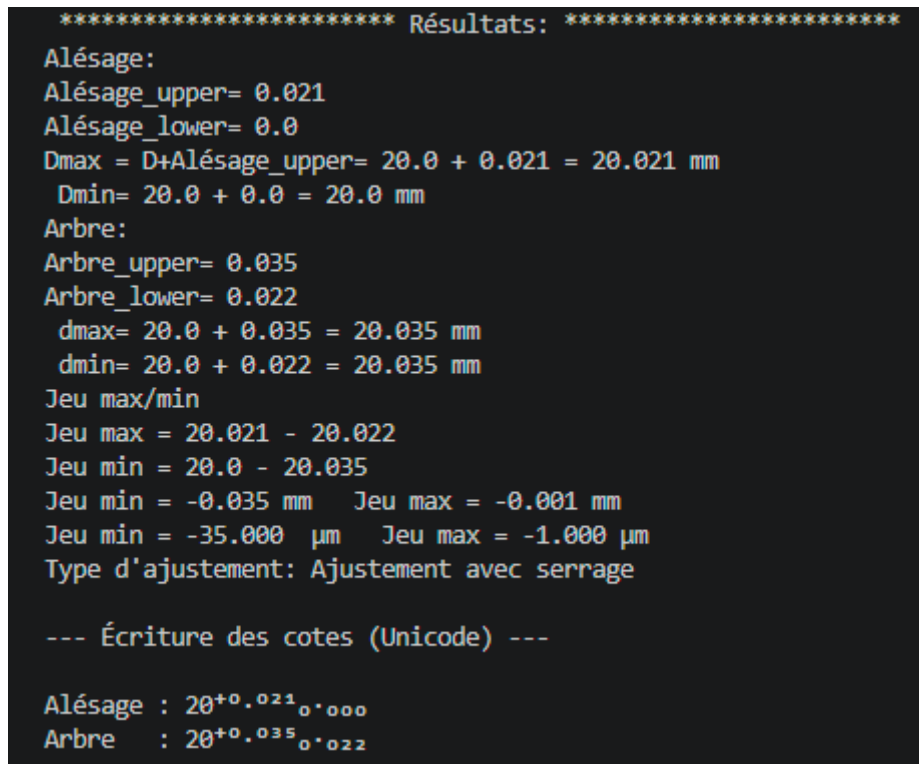
```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS

PS C:\Users\tassili\AppData\Local\Programs\Microsoft VS Code> & C:\Users\tassili
Diamètre nominal (mm) : 20
Ajustement (ex: H8/f8) : H7/p6
    
```

Figure IV-5: Entrée des données de l'ajustement avec serrage ( $\phi 20$  H7/p6)

✓ **Sortie console**



```

***** Résultats: *****
Alésage:
Alésage_upper= 0.021
Alésage_lower= 0.0
Dmax = D+Alésage_upper= 20.0 + 0.021 = 20.021 mm
Dmin= 20.0 + 0.0 = 20.0 mm
Arbre:
Arbre_upper= 0.035
Arbre_lower= 0.022
dmax= 20.0 + 0.035 = 20.035 mm
dmin= 20.0 + 0.022 = 20.022 mm
Jeu max/min
Jeu max = 20.021 - 20.022
Jeu min = 20.0 - 20.035
Jeu min = -0.035 mm   Jeu max = -0.001 mm
Jeu min = -35.000 µm   Jeu max = -1.000 µm
Type d'ajustement: Ajustement avec serrage

--- Écriture des cotes (Unicode) ---

Alésage : 20+0.0210.000
Arbre   : 20+0.0350.022
    
```

Figure IV-6: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement avec serrage

✓ **Visualisation graphique**

### Fiche D'ajustement ISO

|                                         |                  |
|-----------------------------------------|------------------|
| Dmin = 20.000 mm                        | Dmax = 20.021 mm |
| dmin = 20.022 mm                        | dmax = 20.035 mm |
| Jeu minimum = -0.035 mm = -35.0 $\mu$ m |                  |
| Jeu maximum = -0.001 mm = -1.0 $\mu$ m  |                  |

**Alésage :**  $20_0^{+0.021}$

**Arbre :**  $20_{+0.022}^{+0.035}$

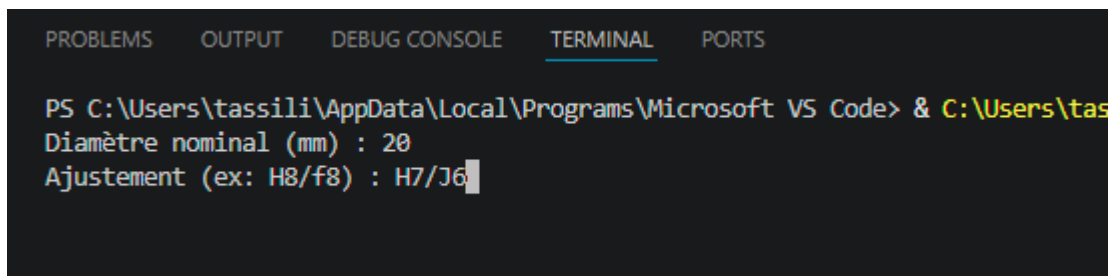
**Type D'ajustement : Ajustement avec serrage**

Figure IV-7: Représentation graphique des résultats de l'ajustement avec serrage

Dans ce deuxième essai, les dimensions choisies donnent un ajustement avec serrage, où le diamètre de l'arbre est supérieur à celui de l'alésage.

#### II.2.3. Essai n°3 : Ajustement incertain

✓ Exemple :  $\phi 20$  H7/j6



```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS

PS C:\Users\tassili\AppData\Local\Programs\Microsoft VS Code> & C:\Users\tas
Diamètre nominal (mm) : 20
Ajustement (ex: H8/f8) : H7/J6
    
```

Figure IV-8: Entrée des données de l'ajustement incertain ( $\phi 20$  H7/j6)

✓ Sortie console

```

***** Résultats: *****
Alésage:
Alésage_upper= 0.021
Alésage_lower= 0.0
Dmax = D+Alésage_upper= 20.0 + 0.021 = 20.021 mm
Dmin= 20.0 + 0.0 = 20.0 mm
Arbre:
Arbre_upper= 0.009
Arbre_lower= -0.004
dmax= 20.0 + 0.009 = 20.009 mm
dmin= 20.0 + -0.004 = 20.000 mm
Jeu max/min
Jeu max = 20.021 - 20.000
Jeu min = 20.0 - 20.009
Jeu min = -0.009 mm    Jeu max = 0.021 mm
Jeu min = -9.000 µm   Jeu max = 21.000 µm
Type d'ajustement: Ajustement incertain
    
```

Figure IV-9: Résultats obtenus sur la console pour l'ajustement incertain

✓ **Visualisation graphique**

| <b>Fiche D'ajustement ISO</b>                   |                                             |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Dmin = 20.000 mm                                | Dmax = 20.021 mm                            |
| dmin = 19.996 mm                                | dmax = 20.009 mm                            |
| Jeu minimum = -0.009 mm = -9.0 µm               |                                             |
| Jeu maximum = 0.021 mm = 21.0 µm                |                                             |
| <hr/>                                           |                                             |
| <b>Alésage :</b>                                | <b>20<sup>+0.021</sup><sub>0</sub></b>      |
| <b>Arbre :</b>                                  | <b>20<sup>+0.009</sup><sub>-0.004</sub></b> |
| <b>Type D'ajustement : Ajustement incertain</b> |                                             |

Figure IV-10: Représentation graphique des résultats de l'ajustement incertain

### III. COMPARAISON DES RÉSULTATS

Après l'étude des différents exemples d'ajustements réalisés dans le chapitre 2 (ajustement avec jeu, ajustement avec serrage et ajustement incertain), les résultats obtenus manuellement sont conformes à ceux fournis par le programme développé dans le chapitre 3.

Les valeurs obtenues par le programme sont donc identiques aux résultats théoriques calculés dans le chapitre 2. Cette concordance valide l'exactitude des calculs ainsi que le bon fonctionnement du programme réalisé ;

### IV. ANALYSE DES RÉSULTATS

Les différents essais réalisés à l'aide du programme Python ont permis de vérifier le bon fonctionnement des calculs des ajustements mécaniques.

Le premier test a donné un ajustement avec serrage, où le diamètre de l'arbre est supérieur à celui de l'alésage, ce qui empêche le jeu entre les deux pièces.

Le deuxième test a présenté un ajustement avec jeu, permettant un mouvement libre entre l'arbre et l'alésage.

Le troisième test a montré un ajustement incertain, dans lequel les dimensions peuvent produire soit un jeu soit un serrage selon les valeurs obtenues.

Les résultats obtenus présentent une excellente concordance avec les calculs du programme, ce qui confirme la fiabilité et la robustesse de l'implémentation proposée. Ils confirment également l'efficacité du programme développé dans la détermination automatique du type d'ajustement avec rapidité et précision.

## **V. CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le programme réalisé sous Python pour automatiser les calculs des ajustements mécaniques. Les différents essais effectués ont permis de tester le fonctionnement du programme dans plusieurs cas : ajustement avec serrage, avec jeu et ajustement incertain.

Les résultats obtenus montrent que le programme permet de déterminer automatiquement le type d'ajustement avec précision et rapidité. Cette application facilite les calculs et réduit les erreurs par rapport à la méthode manuelle.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de ce mémoire, nous avons étudié les notions fondamentales des tolérances et des ajustements mécaniques utilisées dans les assemblages arbre-alésage. Cette étude a permis de comprendre l'importance des tolérances dans la fabrication industrielle ainsi que leur rôle dans la précision, la qualité et l'interchangeabilité des pièces mécaniques.

Nous avons analysé les différents types d'ajustements, notamment les ajustements avec jeu, serrés et incertains, tout en déterminant les jeux minimums et maximums ainsi que les serrages possibles selon les dimensions limites des pièces. Cette étude a montré que le choix correct d'un ajustement est indispensable pour assurer le bon fonctionnement des mécanismes et éviter les problèmes liés au montage ou à l'usure des composants.

La partie pratique réalisée à l'aide du langage Python nous a permis de faciliter les calculs et de représenter graphiquement les résultats obtenus. Cette méthode apporte un gain de temps considérable, réduit les erreurs de calcul et permet une meilleure analyse des ajustements étudiés.

En conclusion, ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des tolérances et ajustements mécaniques tout en développant des compétences pratiques dans l'utilisation des outils numériques appliqués à la mécanique industrielle. Ce mémoire peut également constituer une base pour des études plus avancées portant sur la métrologie, le contrôle dimensionnel et l'automatisation des calculs mécaniques.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/5%20Tolerances%20et%20ajustements%2027%20pages.pdf> 05/05/2026
- [2] A. Chevalier et J. Bohan, Guide du technicien en fabrication mécanique, Hachette
- [3] <http://barreau.matthieu.free.fr/cours/ajustements/> 08/05/2026
- [4] <https://www.prudhomme-trans.com/wp-content/uploads/2012/04/ajustements%20iso.pdf> 08/05/2026
- [5] <https://fr.scribd.com/document/644240215/Tolerance-et-Ajustement> 12/5/2026
- [6] Cours de conception mécanique, systèmes arbre/alésage
- [7] Mécanique industrielle, Chapitre : assemblages et ajustements mécaniques.