

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie mécanique



المدرسة الوطنية المتعددة الفتيات
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Thème

**Conception et réalisation d'un système de
fixation d'éprouvette pour la machine de
flexion rotative et validation expérimentale**

Dirigé par :

M^r. Y. Belkacemi
M^r. B. Guergueb

présenté par:

M^{lle}. Saïfi Amina

Soutenu le 28 Juin 2008
Année Universitaire 2007 / 2008

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE 10 AVENUE HASSEN BADI
EL-HARRACH – ALGER.**

DEDICACES

Je dédie cet humble travail à la mémoire de ma grand mère qui m'est toujours la plus chère, que Dieu le miséricordieux ait pitié de son âme.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que je dédie ce modeste travail

À

Mes très chers parents qui se sont sacrifié toute leurs vies pour que je réussisse dans mon cursus scolaire et universitaire.

Mes frère Saïd, Farouk et Merouan ;

A toute ma famille ;

Aux sources de force d'amour et de fidélité, ceux qui ont toujours répondu dans le besoin, emblème amitié, aux grands cœurs, pour leurs encouragements moraux ; mes amies : Karima, Abdelatif et Rabie.

Remerciements

Je remercie mes encadreurs M. B. Guergueb et M. Y. Belkacemi qui ont impulsé et orienté avec tact mes travaux, tout au long du projet, m'inspirant la rigueur nécessaire et un certain professionnalisme. Ils se sont fortement impliqués dans ce travail et je leur en suis reconnaissante.

Mes sincères remerciements vont aussi à monsieur le président et messieurs les membres de jury pour avoir expertisé mon travail et m'avoir honoré par leur présence.

Je remercie également monsieur Belhadef, responsable du laboratoire de m'avoir permis d'effectuer ce travail dans de bonnes conditions.

J'adresse mes sincères remerciements à monsieur H. Zahana, chef de l'entreprise USI-PRECIS, qui a participé à la réalisation de mon système de fixation.

Je tiens aussi à remercier monsieur Sefroun ainsi que l'ensemble des cadres du bureau de méthode de la CVI que j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec eux.

Je remercie également tous les enseignants du département de Génie mécanique ainsi qu'à tous les enseignants qui ont participé à ma formation.

Pour finir, je remercie mes parents et mes frères pour leurs encouragements et leur soutien.

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تصميم و انجاز نظام خاص بتثبيت مخبرات، الغرض من هذه المبادرة هو إصلاح الآلة الخاصة بتجارب تعب المعادن بواسطة الاعوجاج الدوراني بمخبر الهندسة الميكانيكية.
قبل الشروع في عملية الانجاز، تم وضع سلسلة استنناع.
من اجل التأكد من صحة عمل نظام التثبيت، قمنا بإجراء مجموعة من التجارب على مخبرات مختلفة مصنوعة من الفولاذ.
كلمات مفتاحية: اعوجاج دوراني، تجارب التعب، نظام تثبيت.

Abstract

The objective of this project is the design and the realization of an attachment unit of the test-tubes, the purpose of this initiative is to repair the testing machine of tiredness per rotational bending of the laboratory of mechanical Engineering.

Before the realization, we have done the range of machining.

To test the good functioning of the machine, rotating bending fatigue tests have been done using different test-tubes made of XC38.

Key words: rotational bending, testing tiredness, attachment unit.

Résumé

L'objectif de ce projet est la conception et la réalisation d'un système de fixation des éprouvettes, cette initiative a pour but la réparation de la machine d'essai de fatigue par flexion rotative du laboratoire de Génie mécanique.

Avant de passer à la réalisation, une gamme d'usinage a été établie.

Afin de tester le bon fonctionnement de la machine, une série d'essais a été effectuée sur différentes éprouvettes faites en acier XC38.

Mots clés : flexion rotative, essai de fatigue, système de fixation.

Table des matières

| | |
|------------------------------------|---|
| <i>Introduction générale</i> | 1 |
|------------------------------------|---|

CHAPITRE I : Généralités sur la fatigue

| | |
|--|----|
| Introduction | |
| I.1- Quelques statistiques de cas de rupture..... | 3 |
| I.2-Différents mécanismes de l'endommagement..... | 3 |
| I.2.1- l'endommagement plastique ductile..... | 4 |
| I.2.2- l'endommagement viscoplastique fragile(ou de fluage)..... | 4 |
| I.2.3- l'endommagement macro-fragile..... | 4 |
| I.2.4- l'endommagement de fatigue..... | 4 |
| I.3- Définitions..... | 4 |
| I.3.1- Endommagement par fatigue | 4 |
| I.3.2- Fatigue..... | 4 |
| I.3.3- Limite de fatigue..... | 5 |
| I.3.4- Endurance..... | 5 |
| I.3.5- Limite d'endurance..... | 5 |
| I.3.6- Durée de vie ou endurance en fatigue..... | 5 |
| I.4- Les types de fatigues..... | 5 |
| I.5- Mécanisme de la fatigue..... | 5 |
| I.5.1- L'amorçage..... | 6 |
| I.5.2- Propagation de fissure en fatigue..... | 6 |
| I.5.3- Rupture brutale..... | 7 |
| I.6- Morphologie d'une surface de rupture..... | 7 |
| I.7- Les paramètres d'influence en fatigue..... | 8 |
| I.7.1- Paramètres d'ordre métallurgique..... | 8 |
| I.7.2- Paramètres d'ordre mécanique et géométrique..... | 9 |
| I.7.3- Environnement..... | 11 |
| I.7.4- Influence de la contrainte moyenne | 12 |
| Conclusion | |

CHAPITRE II : Pratique de l'essai de fatigue

| | |
|--|----|
| Introduction | |
| II.1- Objet des essais de fatigue..... | 14 |
| II.2- Les essais de fatigue..... | 14 |
| II.2.1- Les essai de flexion rotative | 14 |
| II.3- Définitions et symbolisation des termes utilisés en fatigue..... | 14 |
| II.3.1- Les paramètres d'un mode de sollicitation..... | 14 |
| II.3.2- Définitions..... | 15 |

| | |
|--|----|
| II.3.2.1- Contrainte nominale..... | 15 |
| II.3.2.2- Cycle de contrainte..... | 15 |
| II.3.2.3- rapport d'endurance | 16 |
| II.4- Classification des sollicitations des essais de fatigue | 16 |
| II.4.1- Essai sous amplitude constante | 17 |
| II.4.2- Essai sous amplitude variable..... | 18 |
| II.5- Les éprouvettes d'essais..... | 18 |
| II.5.1- dimensions des éprouvettes..... | 18 |
| II.5.2- formes des éprouvettes..... | 19 |
| II.5.3- Usinage des éprouvettes..... | 19 |
| II.6- Présentation pratique des résultats..... | 20 |
| II.6.1- Courbe de Wöhler (courbe σ -N)..... | 21 |
| II.6.1.1- Tracé de la courbe de Wöhler..... | 21 |
| II.6.1.2- Représentation analytique de la courbe de Wöhler..... | 22 |
| II.6.2- Courbes d'équiprobabilités..... | 23 |
| II.6.3- Diagramme d'endurances..... | 23 |
| II.7- Estimation des caractéristiques de résistance et d'endurance en fatigue..... | 24 |
| II.7.1- Nature et aspect de la dispersion des résultats des essais de fatigue..... | 24 |
| II.7.2- Méthodes d'estimation de l'endurance à N cycles..... | 24 |
| II.7.2.1- Méthode des probits..... | 24 |
| II.7.3- Choix de méthode d'essai..... | 25 |
| Conclusion | |

Chapitre III: Conception du système de fixation

Introduction

| | |
|---|----|
| III.1- la machine d'essai de flexion rotative | 26 |
| III.1.1- Présentation de la machine..... | 26 |
| III.1.2- Principe de fonctionnement de la machine à flexion rotative..... | 27 |
| III.1.3 -Composition de la machine..... | 27 |
| III.2. Analyse des problèmes..... | 28 |
| III.2.1- L'ancien système de fixation et son problème | 28 |
| III.2.1.1- Procédé de fonctionnement..... | 29 |
| III.2.2- Le diagnostic..... | 29 |
| III.3- Choix de la pince..... | 30 |
| III.3.1- Critères de choix de la pince | 31 |
| III.3.2- Types de pinces disponibles..... | 32 |
| III.3.3- Choix de la pince | 34 |
| III.3.3.2- Propriété et dimension de la pince..... | 34 |
| I II.4- la conception avec le Solidworks..... | 35 |
| III.4.1 La CAO..... | 35 |
| III.4.1.1- Définition de la CAO | 35 |
| III.4.1.2- les avantages et les inconvénients de la CAO..... | 35 |
| III.4.2- Le SolidWorks..... | 36 |
| III.4.2.1- définitions..... | 36 |
| III.4.2.2- les différentes utilisations de SolideWorks | 36 |
| III.4.2.3- l'utilité de SolideWorks dans notre travail..... | 36 |
| III.4.3- La partie conception..... | 36 |

| | |
|---|----|
| III.4.3.1- Les principales étapes de conception | 36 |
| III.4.3.2- définition des pièces à réaliser..... | 37 |
| III.4.3.3- le dessin des pièces en 3D..... | 39 |
| III.4.3.4- la mise en plan des dessins..... | 40 |
| III.4.3.5- l'assemblage des pièces..... | 40 |
| conclusion | |

Chapitre IV : Analyse de fabrication

| | |
|---|----|
| IV.1-Méthodologie | 43 |
| IV.1.1-Principe de la méthode développée | 43 |
| IV.1.1.1-Repérage des surfaces | 43 |
| IV.1.1.2-Tableau des opérations élémentaires | 44 |
| IV.1.1.3-Tableau des groupements évidents | 44 |
| IV.1.1.4-Tableau des contraintes d'antériorité | 44 |
| IV.1.1.5-Tableau des niveaux..... | 44 |
| IV.1.1.6-Tableau des groupements en phase..... | 45 |
| IV.1.1.7-le projet de gamme | 45 |
| IV.1.2-Simulation d'usinage | 45 |
| IV.1.2.1-Calcul des surépaisseurs d'usinage | 45 |
| IV.1.2.1.1-Copeau minimum | 45 |
| IV.1.2.1.2-Tolérances économiques..... | 46 |
| IV.1.3-Choix des machines..... | 46 |
| IV.1.4-Choix des outils de coupe..... | 46 |
| IV.1.4.1- Matière de coupe | 47 |
| IV.1.4.2 Choix des plaquettes..... | 47 |
| IV.1.5-Choix des conditions coupe | 48 |
| IV.1.5.1-Les efforts de coupe..... | 49 |
| IV.1.5.2-Puissance absorbée | 49 |
| IV.1.5.3-Pression spécifique de coupe K_s | 49 |
| IV.1.5.4-Les facteurs d'influence..... | 50 |
| IV.1.6-La programmation..... | 51 |
| IV.1.6.1-Définition | 51 |
| IV.1.6.2-La préparation du travail..... | 51 |
| VI.2 la gamme d'usinage du porte pince..... | 52 |
| VI.2.1-inventaire des surfaces..... | 52 |
| VI.2.2-Les graphes Des liaisons | 52 |
| VI.2.3-Tableau des opération élémentaire..... | 54 |
| VI.2.4-Tableau des regroupement de surfaces..... | 55 |
| VI.2.5-Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité..... | 55 |
| VI.2.6-Tableau des niveaux..... | 57 |
| VI.2.7-Gamme d'usinege..... | 57 |
| VI.2.8-Calcul des paramètres..... | 60 |
| VI.2.9-Programme de la pince..... | 62 |

Chapitre V : Etude expérimentale

| | |
|---|----|
| V.1- Machine d'essai de fatigue utilisée..... | 65 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| V.2 -Description de la machine..... | 65 |
| V.3 -Mode de sollicitation de l'éprouvette | 66 |
| V.4 -Type d'éprouvettes utilisées..... | 66 |
| V.5 -Protocole des essais réalisés..... | 67 |
| V.6 - Résultats des essais..... | 68 |
| V.7-Conclusion..... | 69 |

| | |
|--------------------------|----|
| Conclusions | 70 |
|--------------------------|----|

Annexes

Bibliographie

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure I.1: Les paramètres impliqués dans la destruction d'une pièce..... | 3 |
| Figure I.2: Aspect macroscopique d'une rupture en fatigue..... | 6 |
| Figure I.3 : Stades I et II de la fissuration par fatigue..... | 7 |
| Figure I.4: Aspect schématique d'une surface de rupture de la fatigue [5]..... | 8 |
| Figure I.5 : effet d'entaille..... | 10 |
| Figure I.6 : L'influence de l'environnement..... | 11 |
| Figure I.7 : Influence de la contrainte sur la courbe S-N..... | 12 |
| Figure II.1 : Cycle de contrainte de fatigue..... | 15 |
| Figure II.2 : Différents types de sollicitations..... | 16 |
| Figure II.3 : Contraintes alternées..... | 17 |
| Figure II.4 : Contrainte répétés ($R = 0, \sigma_{moy} = \sigma_{max} / 2$)..... | 17 |
| Figure II.5: Contraintes alternées asymétrique($R > 0, \sigma_{moy} > 0$)..... | 18 |
| Figure II.6: Formes des éprouvettes..... | 19 |
| Figure II.7 : Courbe de Wöhler..... | 21 |
| Figure II.8 : Domaines de la courbe de Wöhler..... | 22 |
| Figure II.9 : Courbe d'équiprobabilités..... | 23 |
| Figure III.1 : Machine Schenk de flexion rotative..... | 26 |
| Figure III.2 : Le schéma de la machine d'essai..... | 28 |
| Figure III.3 : l'ancien système de fixation..... | 29 |
| Figure III.4: l'ancienne pince (elle possède cinq mâchoires)..... | 30 |
| Photographie III.5 : L'ancien accouplement..... | 30 |
| Figure III.6 : l'amplification en fonction de l'angle du cône de la pince [WEB 1]..... | 31 |
| Figure III.7: Les dimensions de la pince [WEB 1]..... | 35 |
| Figure III.8: Dimensions du porte pince [WEB 1]..... | 38 |
| Figure III.9 : pièces dessinées avec SolidWorks..... | 40 |
| Figure III.10 : Assemblages réalisés avec SolidWorks..... | 41 |
| Figure IV.1 : schéma directeur de la méthode développée de traitement de gammes d'usinage..... | 43 |
| Figure V.1 : Principe de fonctionnement de la Machine..... | 65 |
| Figure V.2 : Sollicitation de l'éprouvette..... | 66 |
| Figure V.3 : Dimensions de l'éprouvette..... | 67 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau III.1 : différents types de pinces [WEB 1]..... | 34 |
| Tableau III.2 : Dimension des pinces ESX [WEB 1]..... | 35 |
| Tableau III.3 : Les différentes dimensions du porte pince [WEB 1]..... | 38 |
| Tableau VI.1 : Les valeurs indicatives du copeau minimal cpm..... | 46 |
| Tableau VI.2 : Les valeurs indicatives des tolérances économiques..... | 46 |
| Tableau VI.3 : Avances maximales pour les différents rayons de bec..... | 47 |
| Tableau VI.4 : Conversions de la rugosité..... | 48 |
| Tableau IV.5 : Valeurs indicatives des vitesses de coupe..... | 49 |
| Tableau IV.6 : Valeurs indicatives de K..... | 49 |
| Tableau IV.7 : Calcul des paramètres de coupe pour la porte pince (outil ARS)..... | 61 |
| Tableau IV.8 : Calcul des conditions de coupe pour la porte pince..... | 61 |
| Tableau V.1 : Composition chimique de l'acier C35..... | 66 |
| Tableau V.2 : Caractéristiques mécaniques de l'acier C35..... | 67 |
| Tableau V.3 : résultats d'essais préliminaires..... | 68 |
| Tableau V.4 : résultats d'essais avec chargement extrême..... | 69 |

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Toute pièce mécanique est soumise durant son fonctionnement normal à un certain nombre de sollicitations de causes variables mais qui se traduisent le plus souvent par des variations cycliques des contraintes qui lui sont appliquées.

Or, il est malheureusement souvent constaté, et ce depuis fort longtemps, la ruine, parfois catastrophique, d'un certain nombre de structures alors que celles-ci ne sont soumises qu'à des sollicitations dynamiques jugées modestes par rapport aux capacités statiques des matériaux définis communément par leur résistance à la rupture et leur limite d'élasticité.

Le responsable de ces ruines est très souvent le phénomène de fatigue du matériau, au caractère particulièrement insidieux puisque se développant lentement dans le temps, sans modifications macroscopiquement apparentes des pièces et structures et dans des zones souvent inaccessible mais particulièrement sujettes à cet endommagement de par leur conception.

Plusieurs chercheurs ont étudié ce phénomène et on proposé différentes théories pour l'expliquer ou pour le quantifier de manière à prévoir le comportement d'une pièce mécanique en service à partir de données faciles à déterminer, telles que les limites élastiques et les limites de rupture obtenues par les essais de traction.

Les recherches poursuivies sur la fatigue ont montré l'insuffisance des essais ordinaires des métaux par traction, dureté, chocs...etc. il est donc apparu indispensable de faire sur des éprouvettes et sur les pièces elles mêmes des essais dans des conditions aussi voisines que possible des conditions d'utilisation. De tels essais sont des essais d'endurance ou de fatigue.

Ce présent travail fait l'objet d'une réparation d'une machine d'essai de fatigue en flexion rotative en partant de son principe de base passant par une conception d'un nouveau système de fixation et arrivant à sa réalisation.

Dans le but de faciliter au lecteur la compréhension de notre étude, notre travail a été partagé en cinq parties bien distinctes, à savoir :

Une première partie qui traite un certain nombre de caractères généraux de la fatigue (très court aperçu sur le phénomène lui-même, analyse des ruptures, définitions), et qui fait le point sur un certain nombre de facteurs d'influences.

La seconde partie présente les différentes méthodes statiques qui permettent d'estimer les caractéristiques de la fatigue, suite aux résultats expérimentaux.

En s'appuyant sur la description des problèmes posés, nous avons proposé dans la troisième partie un nouveau système de fixation des éprouvettes adapté à la machine.

Quant à la quatrième partie, elle est consacrée à l'analyse de fabrication des pièces et leurs gammes d'usinage.

Nous terminerons par une étude expérimentale. Nous y exposons le déroulement de l'expérience. Nous examinerons, ensuite, les résultats des essais, sur des éprouvettes entaillées en acier au carbone XC38 ce qui validera notre travail.

Enfin, une conclusion synthétisant les différentes étapes du travail.

CHAPITRE I

Introduction

Les matériaux soumis à des charges *fluctuantes* ou *répétées*, tendent à prendre un comportement caractéristique, qui diffère essentiellement de leur comportement sous charge permanente. Ce comportement est appelé *fatigue* et il se caractérise par trois particularités principales: perte de résistance, perte de plasticité et augmentation de l'incertitude, aussi bien sur la résistance que sur la longévité en service. Toutes trois dérivent de la même source « *le défaut d'homogénéité des matériaux réels* ». Tous les matériaux, même les cristaux les plus parfaits, sont remplis d'imperfections de diverses sortes, de sorte qu'aucun matériau n'est parfaitement homogène.

La fatigue est un mode important de comportement de tous les matériaux, des types les plus différents, comme les métaux, les plastiques, le caoutchouc et le béton.

Toutes les pièces tournantes des machines sont soumises à des contraintes alternées ; et comme on emploie depuis toujours les métaux dans la majorité des pièces mobiles, il est naturel qu'on ait rencontré en premier lieu la fatigue dans les métaux. La plupart des recherches ont par conséquent porté sur la *fatigue des matériaux*.

I- Quelques statistiques de cas de rupture

La figure I.1 présente les différents paramètres impliqués dans la destruction d'une pièce

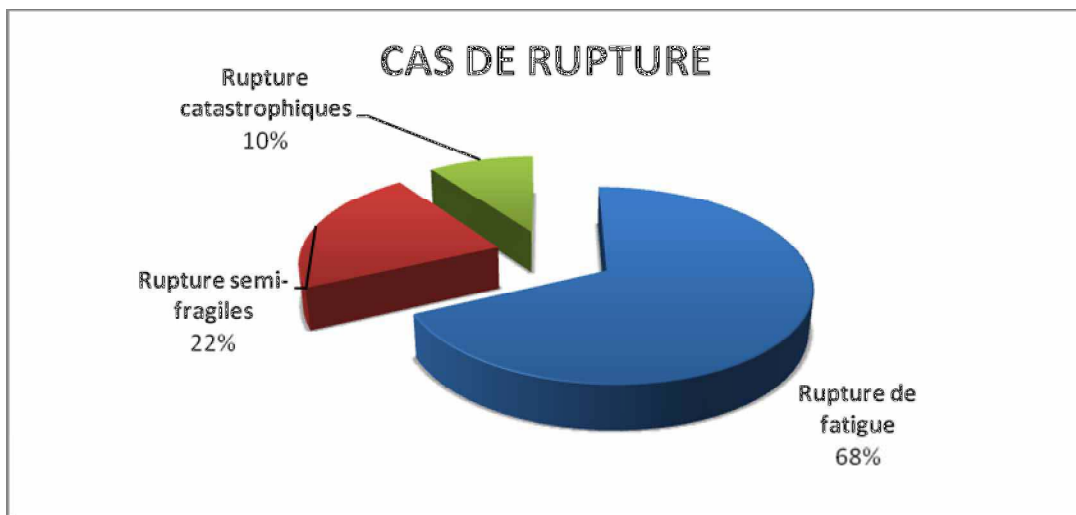


Figure I.1: Les paramètres impliqués dans la destruction d'une pièce

I.2-Différents mécanismes de l'endommagement

La théorie de l'endommagement décrit l'évolution des phénomènes de dégradation de la pièce entre l'état vierge jusqu'à la rupture, cette évolution est due à plusieurs mécanismes :

I.2.1- l'endommagement plastique ductile :

Il accompagne les grandes déformations plastiques des métaux aux températures ambiantes et peu élevées [2].

I.2.2- l'endommagement viscoplastique fragile(ou de fluage) :

Fonction du temps qui, pour les métaux aux températures moyennes et élevées, correspond aux décohésions inter-granulaires accompagnent les déformations viscoplastiques [2].

I.2.3- l'endommagement macro-fragile :

Qui peut être provoqué par des sollicitations monotones sans déformation irréversibles appréciables[2].

I.2.4- l'endommagement de fatigue :

La détérioration provoquée par la fatigue consiste avant tout en formation de fissures dans le matériau du à la répétition des contraintes. L'endommagement par fatigue comprend trois périodes :

- a- période de germination.
- b- période de propagation.
- c- rupture brutale.

I.3- Définitions**I.3.1- Endommagement mécanique**

D'après J. Lemaître [4], l'endommagement est le processus physique par lequel les matériaux se fracturent. La mécanique de l'endommagement est l'étude, à travers de variables mécaniques, des mécanismes impliqués dans la détérioration sous charge des matériaux. À la micro échelle, c'est l'accumulation de micro efforts dans le voisinage de défauts ou interfaces. À la méso échelle, c'est la croissance et la coalescence de microfissures et microcavités. À l'échelle macro, c'est la croissance de fissures.

I.3.2- Fatigue

- Les ASTM *standards* contiennent la définition suivante de la fatigue : « Terme général, employé pour désigner le comportement des matériaux sous des cycles répétés de contrainte ou de déformation, qui causent une détérioration de la matière, d'où résulte une rupture progressive ».
- La fatigue est la détérioration progressive d'une structure par fissuration pouvant conduire à la rupture, cette structure étant soumise à des sollicitations variables vérifiant néanmoins les critères de résistances pratiques.
- Décroissance de la résistance du matériau aux actions variables (cycliques) avec le temps.

I.3.3- Limite de fatigue

Pour une contrainte moyenne donnée, la limite de fatigue est la plus grande amplitude de contrainte pour laquelle il n'est pas constaté de rupture après un nombre infini de cycles N [1].

I.3.4- Endurance

La capacité de résistance à la fatigue des pièces et des assemblages [3].

I.3.5- Limite d'endurance ou Durée de vie

Pour une contrainte moyenne donnée, la limite d'endurance est la plus grande amplitude de contrainte pour laquelle on constate 50% de rupture après un nombre fini N de cycles [1].

I.3.6- Durée de vie ou endurance en fatigue

Le nombre de cycle de contrainte N nécessaire pour que l'éprouvette ou la pièce se rompe pour N cycle de contrainte (σ_a, σ_m) . Ces valeurs peuvent être déterminées à l'aide de méthodes statistiques.

I.4- Les types de fatigue

La rupture par fatigue peut être provoquée par plusieurs processus. Parmi ces processus:

- *fatigue-fluage* : L'endommagement causé par des charges cycliques appliquées à des températures élevées par rapport à la température de fusion du matériau.
- *fatigue thermique* : Les variations de température au cours du temps engendrent également des sollicitations thermiques responsables du phénomène de fatigue thermique.
- *fatigue thermomécanique* : Lorsque la température et la sollicitation mécanique extérieure varient au cours du temps.
- *la fatigue sous corrosion* : lorsque les sollicitations répétées sont en présence d'un milieu corrosif.
- *fretting-fatigue* : résulte de contraintes engendrées aux interfaces par le mouvement relatif de deux solides.

1.5 Mécanisme de la fatigue

Deux conditions sont nécessaires à la formation d'une fissuration progressive. Il faut d'une part que les sollicitations soient de caractère cyclique et d'autre part que le niveau des contraintes dépasse, au moins au point le plus sollicité de la pièce, certain seuil fonction du nombre de cycles supportés. Ce phénomène peut être observé sur les matériaux les plus variés qu'ils soient de haute qualité ou de qualité médiocre.

L'endommagement passe par trois étapes :

I.5.1- L'amorçage

La définition de l'amorçage d'une fissure reste l'une des principales difficultés. Celle-ci peut en fait être différente selon que l'on s'intéresse à l'évolution microstructurale du matériau ou que l'on considère l'apparition d'une microfissure.

Cette phase (Figure I.2) s'initie le plus souvent à la surface de la pièce à partir de bandes de glissement persistantes ou au droit d'inclusions, formant des microfissures et se propagent. Ces microfissures cheminent à travers quelques grains suivant des directions cristallographiques.

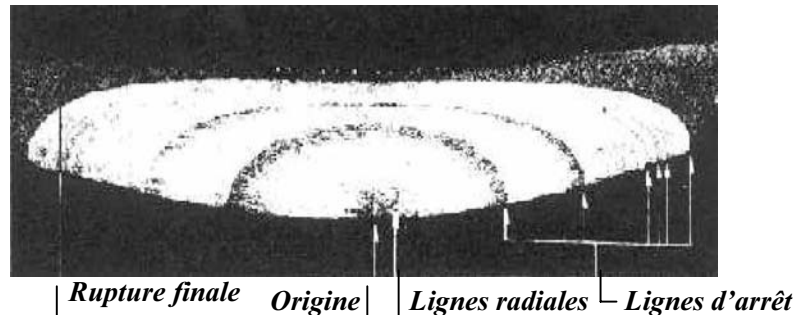


Figure I.2: Aspect macroscopique d'une rupture en fatigue.

I.5.2- Propagation de fissure en fatigue

Les fissures en fatigue s'amorcent généralement à la surface du matériau, en un ou plusieurs endroits. La propagation est souvent trans-granulaire dans une direction cristallographique définie, même lorsque l'amorçage est inter-granulaire. C'est le stade I représenté sur la figure I.3 (état de contraintes planes). Il est suivi du stade II au cours duquel la fissure quitte le plan de scission maximale pour se propager dans le plan de contrainte normale majeure, c'est-à-dire perpendiculaire à la contrainte principale maximale.

La surface fissurée dans le stade I est très limitée par rapport à la surface totale de rupture bien que ce stade présente une durée de vie importante. Dans plusieurs cas, la fissure peut s'amorcer directement en stade II sans passer par le stade I.

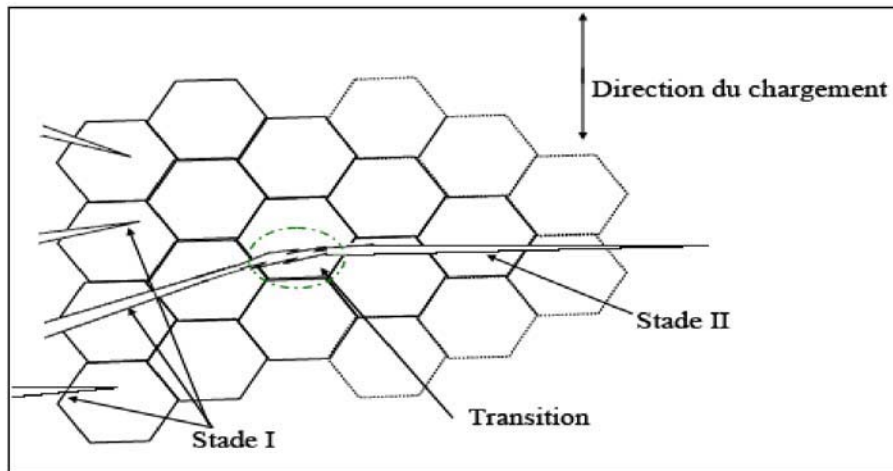


Figure I.3- : Stades I et II de la fissuration par fatigue.

I.5.3- Rupture brutale

Le développement des fissures diminue la section soumise aux sollicitations, ce qui provoque la rupture de la pièce.

I.6- Morphologie d'une surface de rupture

L'examen macroscopique de la surface de rupture d'une pièce rompue par fatigue fait ressortir généralement trois zones schématisées sur la Figure I.4. Ces différentes zones apparaissent plus ou moins distinctement suivant le mode de sollicitation, la géométrie de la pièce et le degré de corrosion.

Le site d'amorçage : est généralement identifiable par la présence de lignes de rivière notées R sur la Figure I.4 et convergeant vers un même point P de la surface de rupture. Cette surface est composée de deux zones distinctes et notées A et B (Figure I.4).

La zone A, d'aspect lisse et plus ou moins mat, correspond à la phase de propagation stable et se caractérise souvent par la présence de lignes concentriques, comparables aux marques laissées sur le sable par la mer et correspondant à des lignes d'arrêt de la fissure.

Ces lignes permettent, lors d'expertises, de retracer l'historique de la propagation au travers des contrastes générés par les différences de vitesses de propagation et les phases d'arrêt.

Lorsque plusieurs fissures s'amorcent simultanément, le front de fissure revêt un aspect plus rectiligne.

Au cours de la propagation, la concavité du front de fissure peut évoluer et d'autres lignes de rivière, convergeant vers la zone de rupture finale, peuvent apparaître.

Enfin, *zone de rupture finale*, représentée par la surface B sur la Figure I.4, se distingue par un aspect plus brillant et granuleux suivant les matériaux.

La transition entre les deux zones est souvent caractérisée par l'apparition de lèvres de cisaillement [5].

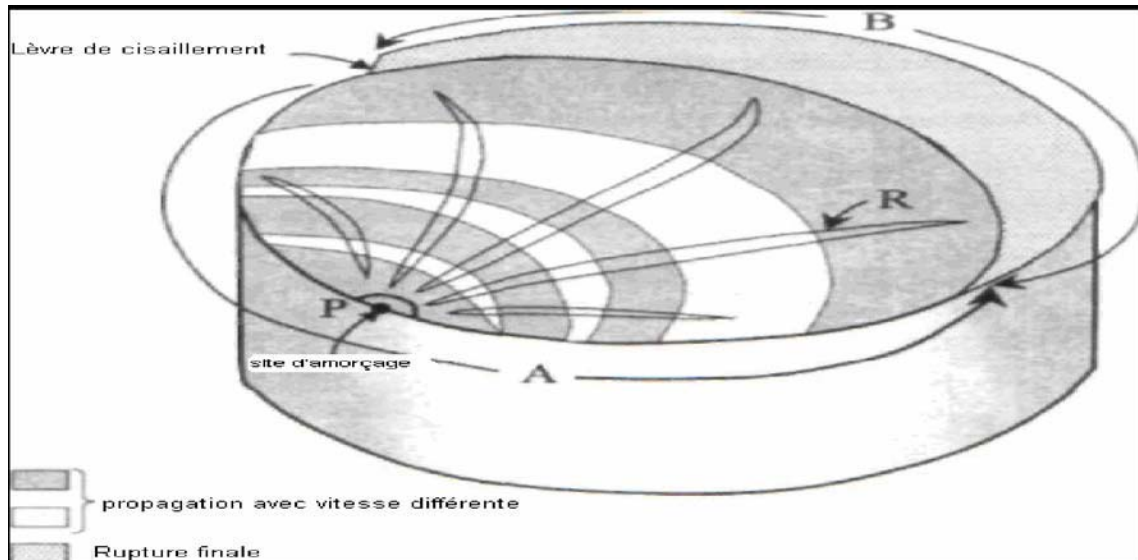


Figure I.4: Aspect schématique d'une surface de rupture de la fatigue [5].

1.7 Paramètres d'influence en fatigue

La fatigue, quel qu'en soit le mécanisme, dépend de nombreux facteurs qui peuvent être d'origine mécanique, métallurgiques, géométriques ou liées aux conditions de travail.

1.7.1 Paramètres d'ordre métallurgique

La réalisation d'une pièce comporte toujours des opérations mécaniques et thermiques qui permettent sa mise en forme et qui agissent sur l'état métallurgique du matériau utilisé, donc sur ses caractéristiques d'utilisation.

Pour cette raison, nous examinerons l'influence des divers facteurs métallurgiques sur la tenue en fatigue, afin de présenter un mode de raisonnement plus qu'une liste exhaustive de ces divers paramètres.

Taille des grains : Les structures à grains fins présentent une meilleure tenue en fatigue que celles à gros grains.

Orientation du fibrage par rapport à la direction des efforts : L'orientation générale des grains (fibrage) confère au matériau une anisotropie plus ou moins marquée. Les caractéristiques statiques et la tenue en fatigue seront meilleures dans le sens long du fibrage que dans les autres sens (travers long et travers court).

Taux d'érouissage : L'érouissage résultant des opérations de formage a pour effet de consolider le matériau (augmentation de la limite d'élasticité), et par suite, améliore la tenue en fatigue.

Traitement thermique: Suivant que le traitement thermique provoque un adoucissement ou un durcissement du matériau, la tenue en fatigue sera diminuée ou augmentée. De plus, le traitement thermique peut modifier la taille des grains.

Santé métallurgique de l'alliage : Les défauts métallurgiques (lacunes, défauts interstitiels, précipités, inclusions) peuvent être à l'origine de l'endommagement par fatigue. Par incompatibilité des déformations, ils provoquent des concentrations de contraintes locales. La chute de la durée de vie dépendra de leurs quantités, taille, nature, répartition et leurs orientations par rapport aux efforts.

1.7.2 Paramètres d'ordre mécanique et géométrique

Nature du chargement : Le chargement cyclique peut être à amplitude constante ou variable (et même aléatoire, spectre). Dans le cas des chargements à amplitude constante, les paramètres prépondérants sont :

- la forme du signal : un signal de type carré est plus pénalisant que celui de type sinusoïdal ;
- le rapport R (rapport entre la valeur minimale et la valeur maximale du chargement) : à contrainte maximale constante, si R augmente, la durée de vie augmente ;
- La contrainte moyenne : à amplitude de chargement constante, si la contrainte moyenne augmente, la durée de vie diminue.

La période du signal a en général peu d'influence sur la durée de vie pour les métaux. Cette règle est infirmée quand le phénomène de fatigue est associé à d'autres modes d'endommagement fonction du temps : fatigue-corrosion, fatigue-fluage, ou lorsque la rapidité des sollicitations produit un échauffement.

Dans le cas des chargements variables, les paramètres prépondérants sont :

- la présence de surcharges : la répétition périodique d'une surcharge peut retarder la propagation de fissures ;
- l'ordre d'apparition des cycles.

Accidents de forme (discontinuité dans la géométrie : entailles, trous, etc...) : Un accident de forme augmente localement le niveau de contrainte. Cette augmentation peut être traduite par un coefficient de contrainte élastique K_t : rapport entre la contrainte locale maximale et la contrainte nominale. Dans le domaine d'endurance limité (domaine visé par l'industrie aéronautique), si la valeur de K_t augmente, la durée de vie diminue.

Tout changement de section entraîne une réduction de la durée de vie pour une amplitude donnée de la contrainte cyclique.

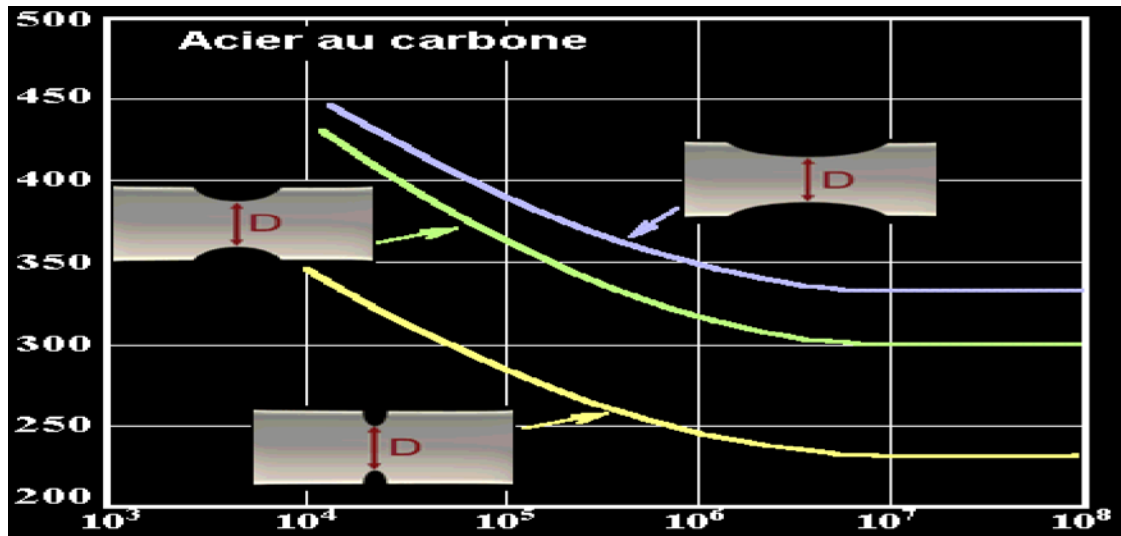


Figure I.5 : effet d'entaille.

Effet d'entaille: C'est une action analogue à un affaiblissement superficiel qu'exerce tout accident de forme constituant une entaille non parallèle à la contrainte principale responsable de la fissuration. Deux cas sont à considérer: effet d'entaille perpendiculaire à la contrainte principale et effet d'entaille oblique. Pour une section circulaire cet élément pourra, si l'effet d'entaille est assez important, inverser la courbure du front, qui devient concave. Cela permet ainsi d'apprécier l'effet d'entaille global responsable d'une fissuration progressive. S'il y a obliquité de l'effet d'entaille par rapport à la direction générale des contraintes, la fissure suit d'abord le fond de l'entaille, la fissure se subdivise en une série de fissures distinctes, orthogonales à la direction générale des contraintes, et plus ou moins imbriquées les unes dans les autres. C'est principalement sur des pièces travaillant en torsion que l'on observe des cassures de ce type.

Effet d'échelle : A niveau de contrainte égale, deux pièces de même géométrie mais de dimensions différentes n'auront pas la même tenue en fatigue : plus les dimensions d'une pièce croissent, plus sa résistance à la fatigue diminue. Cette observation s'explique principalement par le volume de matière sollicité : plus celui-ci est grand, plus la probabilité d'avoir des défauts métallurgiques est grande. On peut citer trois causes principales à l'effet d'échelle :

- Une cause mécanique;
- Une cause statistique;
- Une cause technologique.

Qualité de l'usinage : Généralement, l'endommagement par fatigue apparaît en premier lieu à la surface des pièces. La prise en compte des deux aspects suivants améliore la tenue en fatigue :

- l'aspect micro-géométrie de la surface : un mauvais usinage provoque en surface des microreliefs susceptibles d'augmenter localement le niveau de contrainte ; l'amorçage des fissures en surface est donc retardé lorsque la rugosité est faible ;

• l'aspect « contraintes résiduelles » : l'usinage peut introduire des contraintes résiduelles de traction en surface (elles sont équilibrées en profondeur par des contraintes résiduelles de compression). Ces contraintes, se superposant à celles du chargement, accélèrent l'endommagement par fatigue.

Effet de l'état de surface : La rugosité de la surface est toujours accompagnée d'une diminution de la résistance à la fatigue. Cet effet est comparable à celui provoqué par des micro-entailles.

1.7.3 Effet de l'environnement

Un milieu agressif (températures élevées, milieux corrosifs...) aggrave le phénomène de fatigue. Il apparaît des phénomènes nouveaux comme le fluage ou la corrosion. Leur action est liée au temps d'exposition.

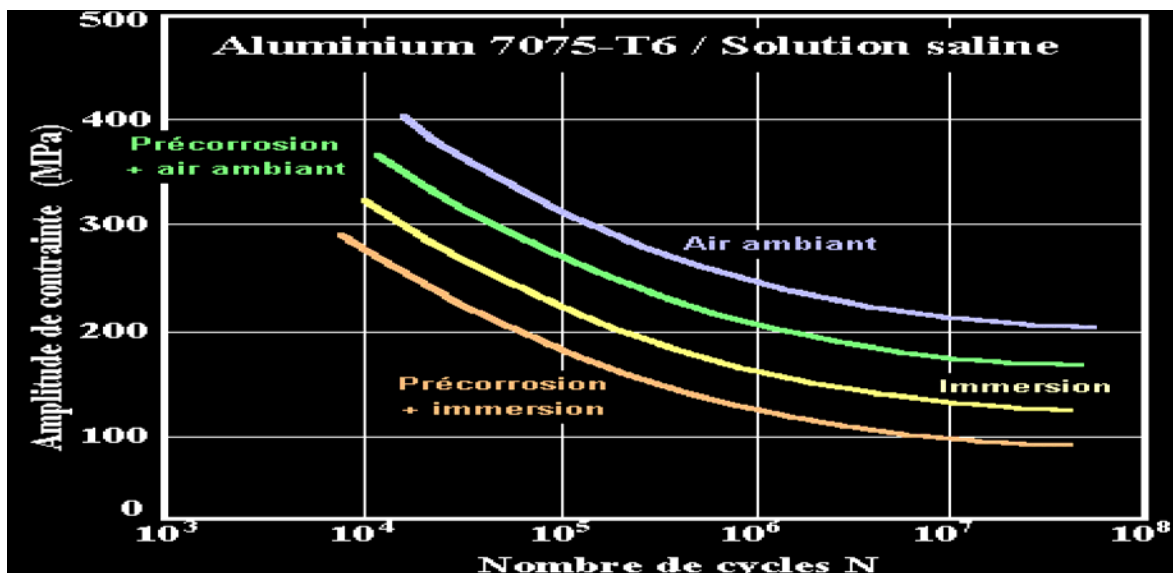


Figure I.6 : L'influence de l'environnement.

Il résulte des expériences que la diminution de résistance à la fatigue par corrosion, avant l'essai est en général faible, tandis que l'influence de la corrosion exercée durant l'essai de la fatigue est considérable [7].

L'influence de la corrosion peut donc être envisagée de deux points de vue, selon que :

- Les efforts de fatigue s'exercent sur les pièces préalablement corrodées.
- La fatigue et la corrosion agissent simultanément. Ce processus est appelé fatigue sous corrosion.

1.7.4. Influence de la contrainte moyenne

Pour une amplitude de contrainte cyclique donnée, la durée de vie est d'autant plus courte que le rapport R est élevé.

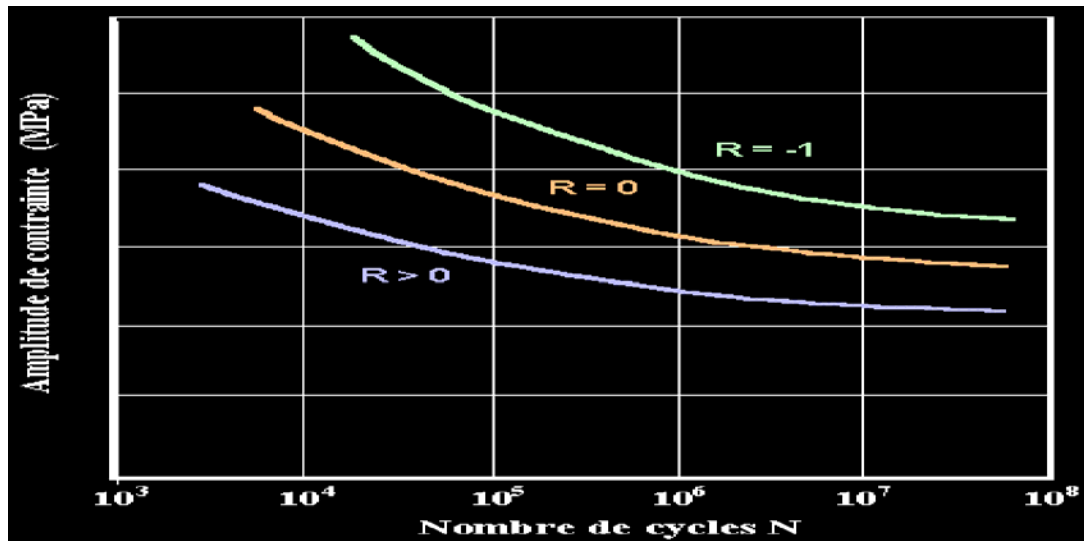


Figure I.7 : Influence de la contrainte sur la courbe S-N.

Conclusion

Dans ce chapitre, l'effet d'entaille est un paramètre important. car on utilisera par la suite des éprouvettes entaillées.

CHAPITRE II

Introduction

Une grandeur qui définit une caractéristique donnée d'un matériau est appelée une *propriété*. Les propriétés d'un matériau fournissent une base pour la prévision de son comportement dans les diverses conditions où il peut se trouver. Ce sont les outils que l'ingénieur utilise pour résoudre ses problèmes de matériaux. Quelques-unes des propriétés les plus importantes des matériaux sont les suivantes :

Mécaniques : résistance à la rupture, rigidité, endurance, plasticité, sensibilité aux entailles, dureté.

Electriques : conductivité, permittivité diélectrique, résistance diélectrique.

Magnétiques : perméabilité, force coercitive, hystérésis.

Thermiques : chaleur spécifique, dilatation thermique, conductivité.

Chimiques : résistance à la corrosion, acidité ou alcalinité, composition chimique.

Physiques : dimensions (grandeur a forme), densité, porosité, structure.

La plupart des propriétés doivent être totalement évaluées par l'expérience : on exerce certaines conditions données et on mesure les propriétés correspondantes. Même lorsque les propriétés peuvent être calculées par la théorie il faut faire appel à l'expérience pour les confirmer.

Les expériences destinées à déterminer les propriétés sont appelées habituellement *des essais*. Les essais peuvent fournir des propriétés destinées à être utilisées dans un projet ou des renseignements sur la qualité de la matière (essais de contrôle). Les modes opératoires sont habituellement normalisés car lorsque l'on suit toujours des modes opératoires identiques, les résultats fournis par un certain nombre d'essais peuvent être comparés avec une certaine confiance.

L'importance du phénomène de fatigue a conduit les ingénieurs et les chercheurs à réaliser des études expérimentales, étant donné que ce phénomène ne peut être décrit par les théories classiques de résistance des matériaux. Ces chercheurs ont réalisé différentes machines d'essais qui s'approchaient le mieux possible du modèle de sollicitations étudiées. Mais la complexité du phénomène de fatigue et l'existence de plusieurs paramètres a obligé les chercheurs mettre au point des essais de fatigue assez simples où n'est étudié que l'influence d'un seul paramètre de manière à déterminer des lois partielles de comportement d'un matériau en fatigue et par suite, à partir de ces lois partielles, déterminer des lois de comportement plus générales.

II.1- Objet des essais de fatigue

L'objet des essais de fatigue est de déterminer le comportement d'éprouvettes de métal, de pièces ou d'ensembles mécaniques sous des sollicitations de contraintes périodiques, analogues à celles qui se produisent dans la pratique lors des sollicitations de service.

Les essais sur pièces ou structures mécaniques correspondent généralement à l'un des trois objectifs :

- vérifier la conformité d'un produit à une norme ou à un cahier des charges;
- valider ou optimiser un nouveau produit;
- rechercher des solutions constructives à la suite de l'avarie d'un composant en service.

Dans les trois cas, il s'agit, le plus souvent, de contrôler que la pièce ou la structure peut subir sans dommage un nombre de cycles fixé d'amplitude de contrainte donné.

La difficulté de la mise en œuvre des essais correspondant à ces trois cas, concerne :

- le mode de sollicitation : points d'application et chemin de contrainte ou des déplacements;
- le niveau de l'amplitude de sollicitation qui doit être représentatif des sollicitations rencontrées en service.

De leur côté, les essais sur éprouvettes correspondent :

- à optimiser un mode de fabrication : la difficulté réside dans ce cas à reproduire sur une éprouvette, généralement de petite dimension lié au facteur d'échelle, l'effet réaliste des conditions de service;
- à valider de nouvelles solutions technologiques : c'est le cas en particulier, des assemblages pour lesquels l'effet d'échelle peut jouer un rôle essentiel sur les résultats;[5]

II.2- Les essais de fatigue

Les essais de fatigue peuvent être classés suivant le type de sollicitation. Nous citons les principaux :

- Les essais de traction-compression.
- Les essais de flexion plane alternée.
- Les essais de torsion.
- les essais de flexion rotative.

II.2.1- Les essais de flexion rotative

Pour ce mode de sollicitation, des éprouvettes de formes cylindriques sont soumises à un moment fléchissant constant dans un plan fixe et mises en rotation. De cette manière toutes les fibres, sauf la fibre neutre, sont successivement tendues puis comprimées.

II.3- Définitions et symbolisation des termes utilisés en fatigue

II.3.1- Les paramètres d'un mode de sollicitation

Pour un type d'essai de fatigue donné, on définit différents paramètres pour bien décrire le mode de sollicitation de l'essai de fatigue. Dans la figure suivante, nous donnons un exemple.

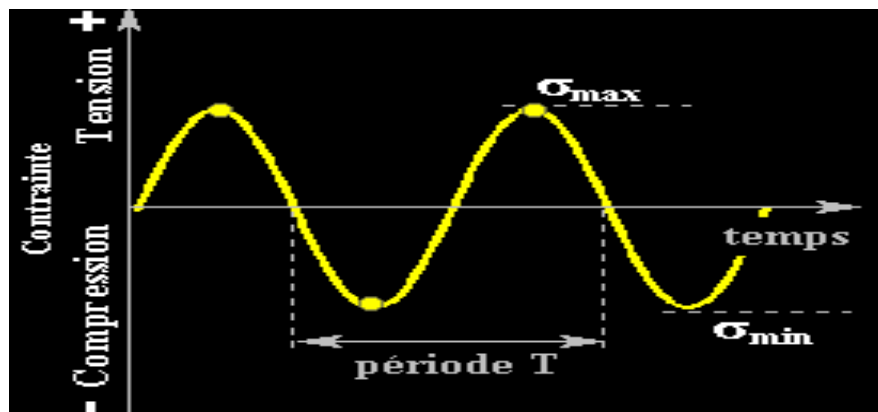


Figure II.1 : Cycle de contrainte de fatigue.

Où :

σ_{\max} : Valeur maximale algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte.

σ_{\min} : Valeur minimale algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte.

σ_m : Contrainte moyenne définie par la valeur algébrique : $\sigma_m = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2}$.

σ_a : amplitude de la contrainte définie par la valeur algébrique : $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$.

$\Delta\sigma$: Étendue de la variation de la contrainte ou écart limite : $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 2\sigma_a$.

R_σ : Enfin on définit le rapport de contrainte : $R_\sigma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$

II.3.2- Définitions

II.3.2.1- Contrainte nominale

La contrainte prise en compte au cours de l'essai de fatigue (contrainte de calcul) est une contrainte nominale. Elle est calculée par rapport à la section nette de la pièce considérée, à l'aide des formules usuelles de la résistance des matériaux relative au domaine élastique [1].

II.3.2.2- Cycle de contrainte

Il y a cycle de contrainte quand une contrainte d'amplitude variable dans le temps se répète périodiquement. Le plus utilisé est le cycle sinusoïdal.

La contrainte cyclique peut être considérée comme la superposition d'une contrainte statique qui est la contrainte moyenne et une contrainte purement alternée considérée comme dynamique. [1]

II.3.2.3- rapport d'endurance

C'est le rapport de la limite d'endurance à la contrainte de rupture en traction.

II.4- Classification des sollicitations des essais de fatigue

On peut distinguer trois catégories d'essai de fatigue : les essais sous amplitude constante, les essais sous amplitude variable et sous amplitude aléatoire.

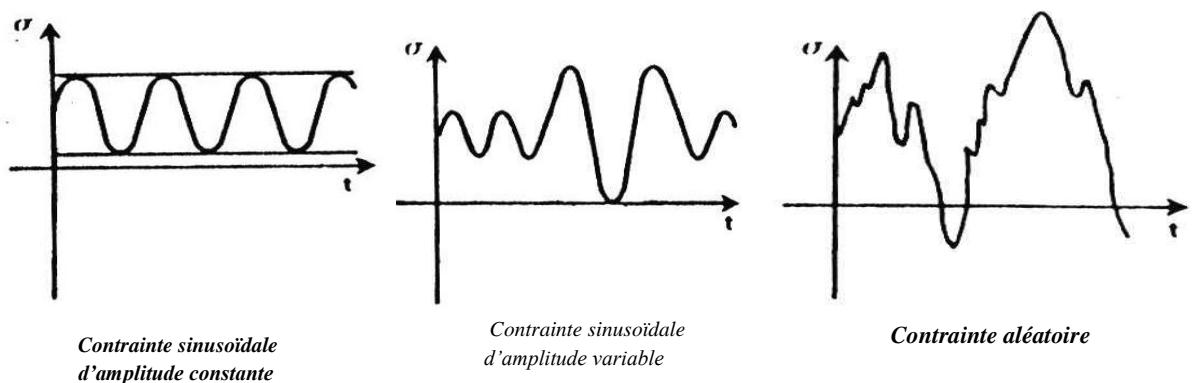


Figure II.2 : Différents types de sollicitations.

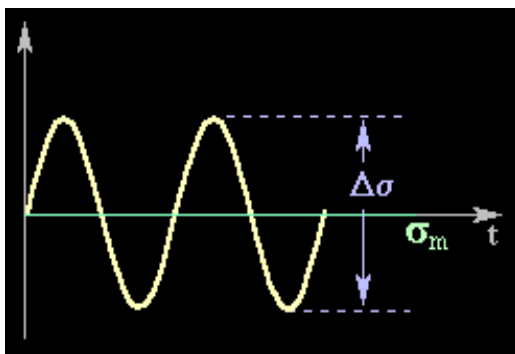
Les sollicitations appliquées dans les essais de fatigue, comme il est montré sur la figure II.2, peuvent être représentées par l'une ou résulter de la combinaison de deux ou plusieurs d'entre elles. Quel que soit le mode de sollicitation, simple ou combiné, les contraintes normales et/ou les contraintes tangentielles développées dans l'éprouvette, varieront suivant une fonction du temps, comme le montre la figure II.2.

Généralement, au cours d'essais de fatigue, la contrainte appliquée est une fonction sinusoïdale, ceci en raison des seules possibilités de fonctionnement des machines ou pour des raisons de commodité dans le traitement des résultats d'essais.

II.4.1- Essai sous amplitude constante

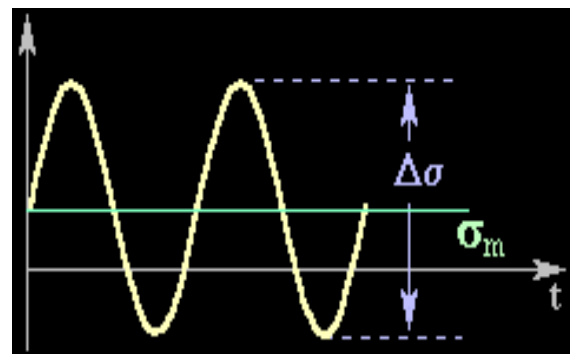
Dans cette catégorie, les sollicitations de service se placent à un seul niveau d'amplitude, on peut distinguer trois cas :

- Sollicitations avec efforts statiques et efforts variables de même nature et de même direction. Dans ce cas, et quelque soit la nature des efforts agissants (traction, flexion, torsion), on peut distinguer trois sortes de sollicitation en fonction du temps.
- **Efforts alternés** pour ($\sigma_m < \sigma_a$), la contrainte évolue entre une valeur maximale positive et une valeur minimale négative dont les valeurs absolues sont différentes. l'effort est symétrique si ($\sigma_m=0, R=-1$), et il est dissymétrique pour ($0 < \sigma_m < \sigma_a, -1 < R < 0$).



a-Contraintes purement alternées

symétriques ($R = -1, \sigma_{moy} = 0$)



b- Contraintes alternées asymétriques

($-1 < R < 0 \quad |\sigma_{max}| > |\sigma_{min}|$)

Figure II.3 : Contraintes alternées.

- **Efforts répétés** pour ($\sigma_m = \sigma_a, R=0$). La contrainte varie entre la valeur 0 et une valeur maximale positive ou entre 0 et une valeur maximale négative.

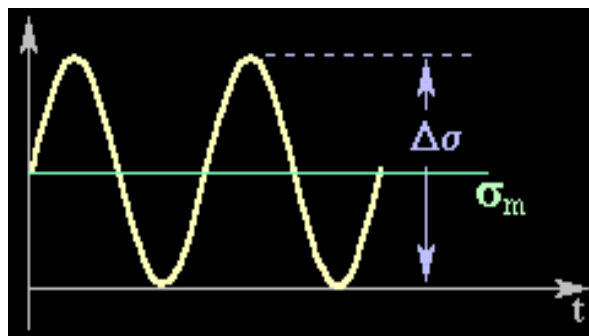


Figure II.4 : Contrainte répétés ($R = 0, \sigma_{moy} = \sigma_{max} / 2$).

- **Efforts ondulés** pour ($\sigma_m > \sigma_a$, $0 < R < 1$). La contrainte varie entre les valeurs maximale et minimale qui sont de même signe.

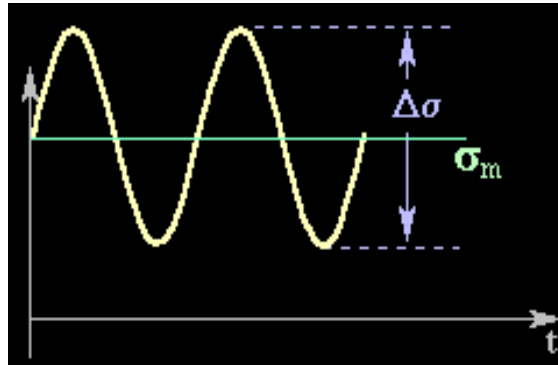


Figure II.5: Contraintes alternées asymétrique ($R > 0$, $\sigma_{moy} > 0$).

- Sollicitations avec efforts statiques et variables de nature différente.
- Sollicitations avec efforts variables de nature différente.

II.4.2- Essai sous amplitude variable

Actuellement, on utilise de plus en plus, en pratique, les résultats d'essais effectués sous programme de charge, de manière à se rapporter davantage des conditions réelles de service [8]. Des expérimentateurs ont imaginé des essais avec modulation d'amplitude, sinusoïdal ou à programme.

II.5- Les éprouvettes d'essais

Pour atténuer au maximum le phénomène de dispersion, des normes ont été définies pour l'usinage des éprouvettes et les tolérances de leurs cotes et changements qui leurs sont appliqués en plus des normes spécifiques aux fabricants de machines d'essais et aux laboratoires de recherche et d'expertise.

II.5.1- dimensions des éprouvettes

D'après les normes Françaises de produits Sidérurgiques – NF A 03-401- 1986, les dimensions des éprouvettes doivent être telles que :

- 1- La contrainte maximale d'essai soit toujours supérieur à 25% de la capacité de la machine et que la contrainte minimale soit supérieure à 2.5% de la capacité.
- 2- La fréquence propre de l'éprouvette soit le double au moins de la fréquence de la machine.
- 3- Les rayons des congés de raccordement entre la partie utile, c'est-à-dire la partie soumise à l'essai, d'une éprouvette et les têtes d'amarrages doivent être choisis de manière à avoir un facteur de concentration de contrainte théorique inférieure à 1.05 pour éviter ainsi les ruptures dans les zones de raccordement.

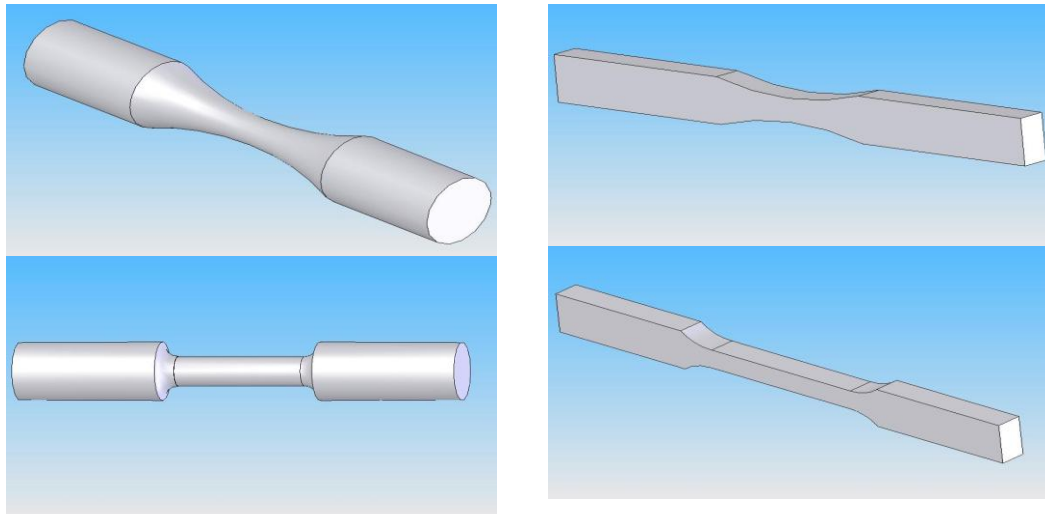
- 4- Le diamètre de la partie soumise à l'essai doit être compris entre 5 et 10 mm, la longueur de la partie utile doit être supérieure à trois fois le diamètre dans cette zone
- 5- Les dimensions de têtes d'amarrages doivent être choisies de manière à ce que le rapport de la surface de la section des têtes d'amarrages à celle de la section de la partie utile, soit supérieur à 1.5.
- 6- La tolérance sur l'excentricité entre la partie utile et les têtes d'amarrages est de ± 0.025 mm et la tolérance de forme sur la partie utile de ± 0.02 mm.s

II.5.2- formes des éprouvettes

Le type de l'éprouvette utilisée dépendra des renseignements que l'on désire obtenir par l'essai de fatigue et de la forme sous laquelle le métal est disponible [9]. Les éprouvettes peuvent être à :

- a) *Section circulaire* avec des congés se raccordant tangentiellement entre la partie soumise à l'essai et les extrémités, ou avec des arcs de cercle continus entre les extrémités.
- b) *Section rectangulaire* d'épaisseur uniforme sur toute la partie soumise à l'essai raccordant tangentiellement la partie soumise à l'essai aux têtes. Le raccordement peut être fait avec un arc de cercle.

Les extrémités de l'éprouvette doivent être d'une forme convenant au type de machine d'essai.



a) Section circulaire

b) Section rectangulaire

Figure II.6: Formes des éprouvettes.

II.5. 3- Usinage des éprouvettes

Pour ne pas altérer la structure et les caractéristiques du métal, l'usinage d'une éprouvette doit éviter tout échauffement et réduire au maximum l'écrouissage de la surface de l'éprouvette.

Lorsqu'il s'agit de déterminer les caractéristiques d'un métal en fatigue, il faut réduire au maximum l'influence de l'état de surface de l'éprouvette sur le processus de fatigue qui conduira à la rupture. Pour cette raison, l'état de surface des éprouvette devra être particulièrement soigné et répétitif pour le même lot d'éprouvettes.

Le traitement thermique de l'ébauche devra être conduit de façon à éviter toute altération superficielle et déformation de l'ébauche.

L'usinage doit se faire par la préparation d'une ébauche avec une surépaisseur de 0.5 mm, puis par des passes de finition de plus en plus fines pour terminer avec une profondeur de passe de 0.025 mm. Enfin, la surface de l'éprouvette est polie longitudinalement avec des toiles et des papiers abrasifs de plus en plus fins pour terminer avec un papier au carbone-silicone, imperméable à l'eau, de degré 600. Il faut obtenir ainsi une finesse de surface de 0.025 CLA [11].

On donne par exemple pour une éprouvette cylindrique avec congé de raccordement, les étapes à suivre : [5]

1. Une ébauche de l'éprouvette fait généralement avant traitement thermique et obtenu par usinage au tour à partir du diamètre $d+0.5$ mm, en évitant tout écrouissage. Dans ce but, il est conseillé d'opérer par passes successives de 1, 0.5 et 0.2 mm au rayon.
2. Un finissage de l'éprouvette fait après traitement thermique et comprenant :
 - Une rectification transversale à l'aide d'une meule appropriée à l'acier à partir du diamètre $d+0.05$ mm par passes décroissantes de 0.05 à 0.01mm.
 - Une rectification longitudinale à partir de $d+0.05$ mm par passes successives décroissantes de 0.1 à 0.005mm.

II.6- Présentation pratique des résultats

Il existe un certain nombre de représentation possibles des résultats au cours d'essais de fatigue. Suivant l'arrangement que l'on adopte pour les paramètres intervenant dans la mesure, et qui sont [10] :

- Le temps, sous la forme de nombre de cycles N .
- Les contraintes, statiques : R_e , R_m , σ_m .
- Dynamique : σ_{max} , σ_{min} , σ_a .

Ces représentations sont faites sous la forme de courbes de Wöhler, de courbes d'équiprobabilité de rupture et de diagrammes d'endurance.

II.6.1- Courbe de Wöhler (courbe σ -N)

La courbe de Wöhler appelée S-N (Stress-Number of cycles) permet de visualiser la tenue de la pièce ou des matériaux dans tout le domaine de fatigue.

II.6.1.1- Tracé de la courbe de Wöhler

Cette courbe représente la variation d'une des contraintes précitées en fonction du nombre de cycles à rupture (rapportée sur échelle logarithmique), pour tracer une courbe. On réalise généralement des essais à contrainte moyenne constante et on fait varier l'amplitude du cycle de contrainte appliqué.

Ainsi, à chaque pièce essayée correspond donc un point du plan (σ_a , N). A partir d'un certain nombre d'essai à contrainte généralement décroissante, on peut tracer la courbe qui a l'allure suivante (Figure II.7):

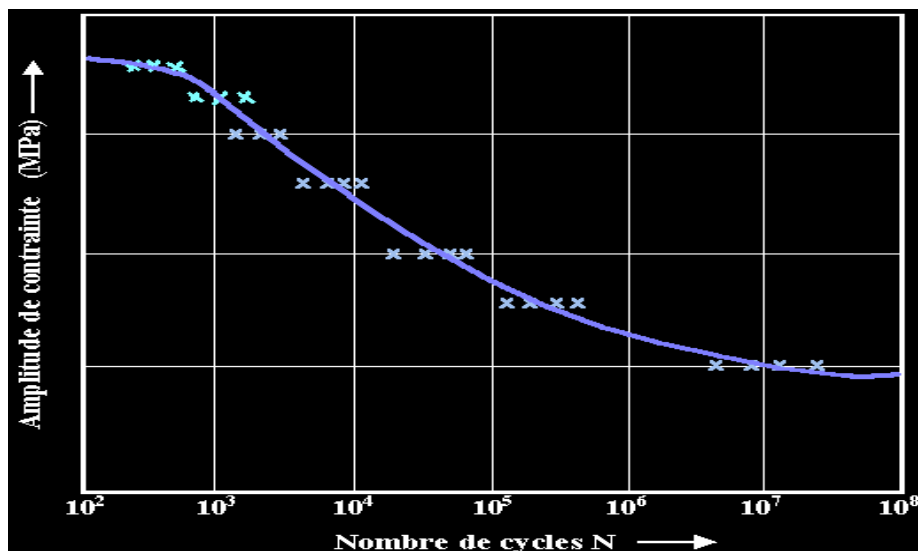


Figure II.7- Courbe de Wöhler.

Une courbe de Wöhler comprend trois domaines :

1. Domaine de la fatigue oligocyclique ou les ruptures surviennent après un petit nombre de cycle ($N \leq 10^{+4}$ cycles) avec déformation plastique importante.
2. Domaine d'endurance limitée ($N > 10^{+4}$), ou les ruptures surviennent systématiquement après un nombre de cycle croissant avec la décroissance de la contrainte.
3. Domaine d'endurance illimitée ou les ruptures ne se produisent pas avant un nombre de cycle supérieur à la durée de vie envisagée.

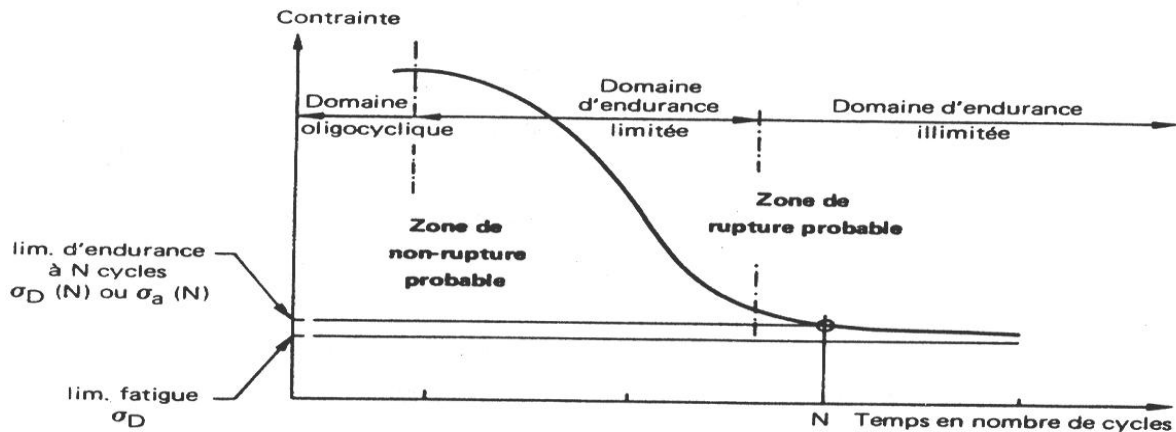


Figure II.8 : Domaines de la courbe de Wöhler.

II.6.1.2- Représentation analytique de la courbe de Wöhler

Diverses expressions analytiques ont été proposées pour représenter les courbes de Wöhler, dans les domaines d'endurance limité ou illimité lorsqu'elles sont connues pour un matériau ou une pièce donnée.

Parmi toutes les formules qui relient la contrainte alternée appliquée en essai σ_a au nombre de cycles à rupture N_r et à la limite de fatigue σ_D , nous ne retiendrons que celles qui représentent le mieux les résultats d'essais de fatigue à savoir [7]:

➤ *Formule de Wöhler (1870)* : $\sigma_a = a - b \log N_r$, $a > 0, b > 0$ (II.1)

Cette relation ne décrit pas la totalité de la courbe puisque σ ne tend pas vers une limite σ_D lorsque $N \rightarrow \infty$. Elle ne représente que la partie BC

➤ *Formule de Basquin (1910)*: $\ln \sigma_a = a - b \log N_r$, $a > 0, b > 0$ (II.2)

Ou $N_r \sigma_a^\beta = C$, et on posant : $\beta = 1/b$ et $\ln C = a/\beta$

b est quelques fois nommé index de la courbe de fatigue.

➤ *Formule de Corson (1949)* [7] : $(\sigma_a - \sigma_D) A^{(\sigma_a - \sigma_D)} = C/N_r$ (II.3)

➤ *Formule de Bastenaire* [7] : $(N_r + B) (\sigma_a - \sigma_D) e^{A(\sigma_a - \sigma_D)} = C$ (II.4)

➤ *Formule de Weibull* [7] : $N_r = K(\sigma - \sigma_D)^n$ (II.5)

➤ *Formule de Stromeyer* [7]: $\sigma_a = \sigma_D + (A/N)^c$ (II.6)

➤ *Formule de Polmingreen* [7]: $\sigma_a = \sigma_D + (a/(N+N))^c$ (II.7)

A, B, C, a, b : des constantes déterminées à partir des données expérimentales.

σ_a : l'amplitude de la contrainte alternée.

σ_D : la limite de fatigue.

II.6.2- Courbes d'équiprobabilités

La courbe de Wöhler dont nous venons de parler était une courbe moyenne, son utilisation peut s'avérer délicate du fait que les valeurs relevées indiquent seulement que la pièce a autant de chance de se rompre que de ne pas se rompre [9].

Les courbes d'équiprobabilités de rupture, dont la courbe de Wöhler constitue un cas particulier ($p=50\%$ de rupture), sont alors tracées en soustrayant à la valeur moyenne une certaine valeur fonction de la probabilité de rupture recherchée, du nombre d'essai et du niveau de confiance accordé [8].

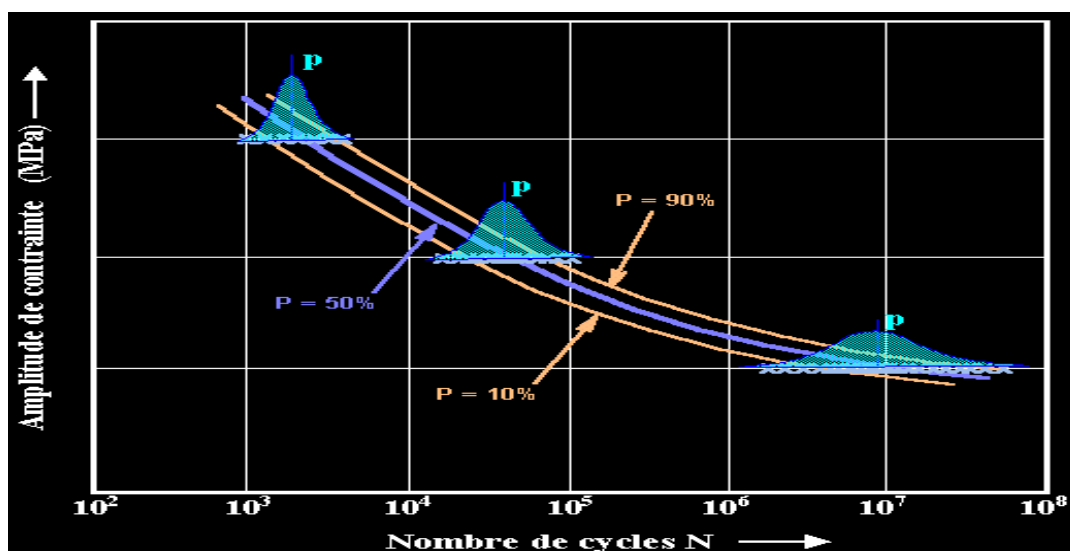


Figure II.9 : Courbe d'équiprobabilités.

II.6.3- Diagramme d'endurances

La limite d'endurance σ_D est aussi modifiée par la superposition d'une contrainte moyenne σ_m non nulle. Certains auteurs ont cherché à représenter l'ensemble de ces limites d'endurance sur différents diagrammes qui ont pris le nom de diagrammes d'endurance. Les diagrammes les plus utilisés sont [7]:

- Diagramme de GOODMAN-SMITH ;
- Diagramme de RÖS ;
- Diagramme de MOORE-KOOMERS-JASPER ;
- Diagramme de Haigh ;

Remarque:

Il est nécessaire d'utiliser ces diagrammes dans le cas où la courbe de Wöhler dont on dispose n'est pas relative à la contrainte moyenne appliquée de manière à pouvoir se ramener au cas précédent. Ces diagrammes permettent de trouver l'amplitude de la contrainte purement

alternée σ_a qui causera le dommage identique à un chargement cyclique à contrainte moyenne non nulle.

Pour obtenir une courbe d'endurance statistiquement significative et tracer des courbes d'équiprobabilité de rupture, il faut réaliser un très grand nombre d'essais, ce qui peut s'avérer très coûteux.

II.7- Estimation des caractéristiques de résistance et d'endurance en fatigue

Les seules méthodes rigoureuses de détermination de la limite d'endurance font appel à des méthodes statistiques.

II.7.1- Nature et aspect de la dispersion des résultats des essais de fatigue

Le phénomène de dispersion des résultats d'essais de fatigue est accepté actuellement comme un fait d'expérience et comme un fait physique. Cette dispersion est due généralement aux causes suivantes :

- Causes internes au matériau : inclusions, hétérogénéité du matériau.
- Causes liées à la préparation de l'éprouvette : usinage, moulage, TTH.
- Causes extérieures : Réglage, serrage, tolérance de montage sur la machine

II.7.2- Méthodes d'estimation de l'endurance à N cycles

Nous citons les principales méthodes statistiques qui peuvent être utilisées pour estimer la limite d'endurance en fatigue d'un matériau à partir de résultats d'essais.

- Méthode des probits;
- Méthode de l'essai en escalier (Stair-Case);
- Méthode d'itération ;
- Méthode des K éprouvettes non rompues.

II.7.2 .1- Méthode des probits

La méthode dite des probits, pas très utilisée à cause du nombre élevé d'éprouvettes mobilisées, est une des méthodes d'estimation de la limite d'endurance. Elle consiste dans le choix de niveaux de contrainte régulièrement espacés, de manière à encadrer la limite d'endurance présumée.

A chaque niveau de contrainte, plusieurs éprouvettes sont utilisées. L'espacement des niveaux est choisi pour qu'ils restent dans la zone d'endurance, donnant à la fois des ruptures et des non-ruptures. Pour chaque niveau, on utilise plusieurs éprouvettes et on détermine la proportion des éprouvettes rompues avant le nombre de cycle fixé.

Les valeurs de la fréquence de rupture et du niveau de contrainte sont reportées sur des graphes avec respectivement une échelle dite normale et une échelle linéaire. On trace une droite dite de Henry qui permet de déterminer la contrainte correspondante à 50% de rupture.

Cette méthode est longue, couteuse et d'emploi délicat, on en réservera l'emploi à des études fondamentales dans lesquelles des déterminations assez précise de la résistance à la fatigues sont recherchées.

Dans les autres cas, on a intérêt à appliquer des méthodes d'application plus simples.

II.7.3- Choix de méthode d'essai :

On distingue trois degrés différents de précision concernant l'estimation d'une résistance à la fatigue :

- 1- L'estimation approchée.
- 2- L'estimation de précision moyenne.
- 3- L'estimation précise.

Conclusion :

L'intérêt de la présentation de la tenue en fatigue, peut être de servir à caractériser la capacité résiduelle à la fatigue d'un matériau après endommagement. La détermination expérimentale des caractéristiques de fatigue nécessite d'utiliser des méthodes statistiques qui permettent d'estimer, soit la résistance à la fatigue à N cycles, soit de tracer la courbe qui relie l'amplitude de la contrainte cyclique au nombre de cycles à rupture.

CHAPITRE III

Conception du système de fixation

Chapitre III : Conception du système de fixation

Introduction

Ce chapitre contiendra deux grandes parties. La première est consacrée à l'analyse de la machine et les problèmes posés, et dans la seconde partie on décrira le système de fixation envisagé.

II.1- La machine d'essai de flexion rotative

II.1.1- Présentation de la machine

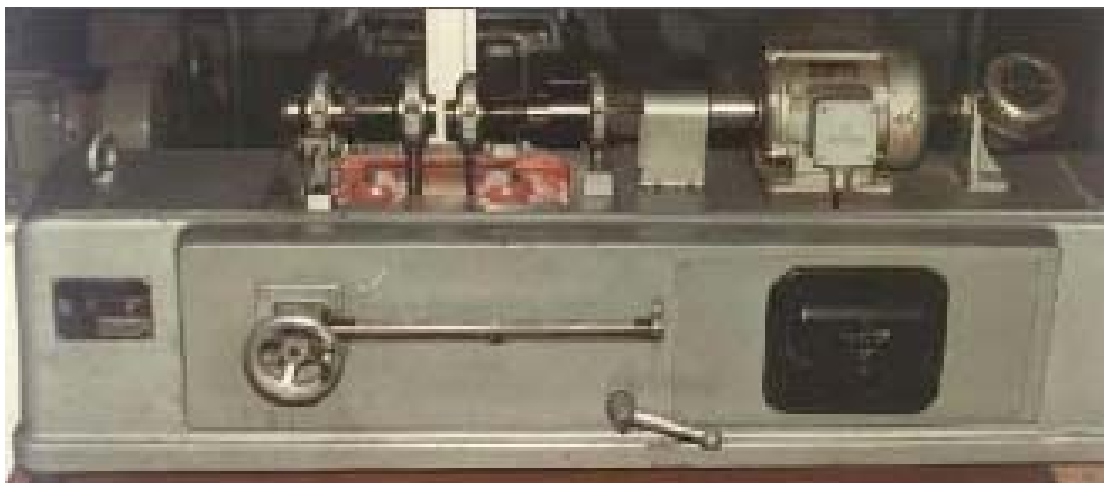


Figure III-1 : Machine Schenk de flexion rotative.

Nom de la machine : Machine Simplex

Marque : Schenck

Principe :

Une éprouvette cylindrique de révolution soumise à de la flexion quatre points tourne autour de son axe longitudinal. La mise en charge est faite par l'intermédiaire d'un palonnier et d'un bras de levier sur lequel coulisse une masse.

Capacité :

- moment maximum : 38 Nm.
- fréquence de fonctionnement : 50 Hz.
- puissance 0.32 KW.
- nombre de tours 2760 tr/min.

Température :

Essais à température ambiante.

Géométrie des éprouvettes :

- longueur : 96 mm.
- diamètre des queues : 12 mm.
- zone active torique ou cylindrique de diamètre utile : 8 mm.

Arrêt de l'essai et détection de fissure (système conçu au LAMEFIP) :

- nombre de cycles.
- rupture de l'éprouvette en deux parties ou détection de fissure par suivi de la perte de raideur en cours d'essai (taille de fissure détectée environ 2 mm de profond sur un diamètre utile de 8 mm).

II.1.2 Principe de fonctionnement de la machine à flexion rotative

Une éprouvette de section circulaire, est sollicitée par des charges transversales dans un plan fixe, tandis qu'elle tourne autour de son axe par rapport à ce plan. Les charges transversales engendrent des contraintes de flexion dans l'organe. La rotation de l'organe fait varier sinusoïdale la contrainte maximale et une contrainte de compression maximale. Ce type de sollicitation est appelé *flexion inversée*.

Le fait que les machines à flexion rotative soient relativement simples et bon marché, explique leur emploi répandu. Elles sont toutefois limitées dans leurs applications, du fait que la contrainte est toujours totalement inversée et que la contrainte moyenne est toujours nulle. En outre, les éprouvettes doivent toujours être de section circulaire, de façon à ce que pendant leur rotation, elles aient un module d'inertie constant.

II.1.3 Composition de la machine

La machine d'essai utilisée est structurée en deux parties principales (figure II.3):

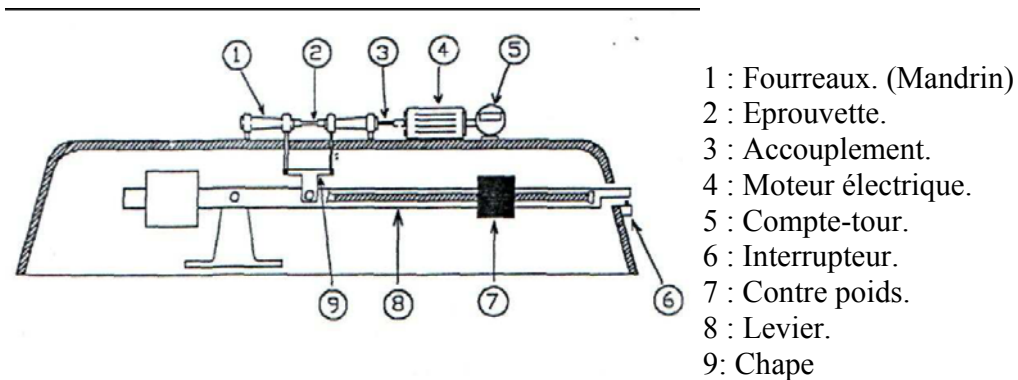


Figure III.2 : Le schéma de la machine d'essai

- Une partie tournante : composée de deux fourreaux (1) à l'intérieur de chaque fourreau est monté une pince qui permet le serrage de l'éprouvette (2). Sur chaque fourreau sont montées deux roulements rotules à deux rangés de billes qui assurent le guidage en rotation. L'un des fourreaux (gauche) est relié à un moteur électrique (4), tournant à 2760 tr/min avec un accouplement élastique avec un ressort (3) et le moteur est relié à un compte-tours (5) qui indique le nombre de cycles effectués par l'éprouvette pendant l'essai.
- Une partie de chargement : Composée principalement d'un levier(8) sur lequel peut glisser une masse (7) dont le déplacement est mesuré grâce à une aiguille coulissante le long d'une règle de 300 mm. Ce levier est relié aux deux fourreaux par l'intermédiaire d'une chape (9) de manière à transmettre à la partie tournante l'effort produit par la masse coulissante. Le levier peut entrer en contact avec un coupe circuit lors de la rupture de l'éprouvette ce qui permet de mesurer le nombre de cycles effectués sous une certaine charge jusqu'à rupture.

II .2 Analyse des problèmes

II.2.1 L'ancien système de fixation et son problème

Le système d'origine endommagé est présenté sur la figure ci-dessous :

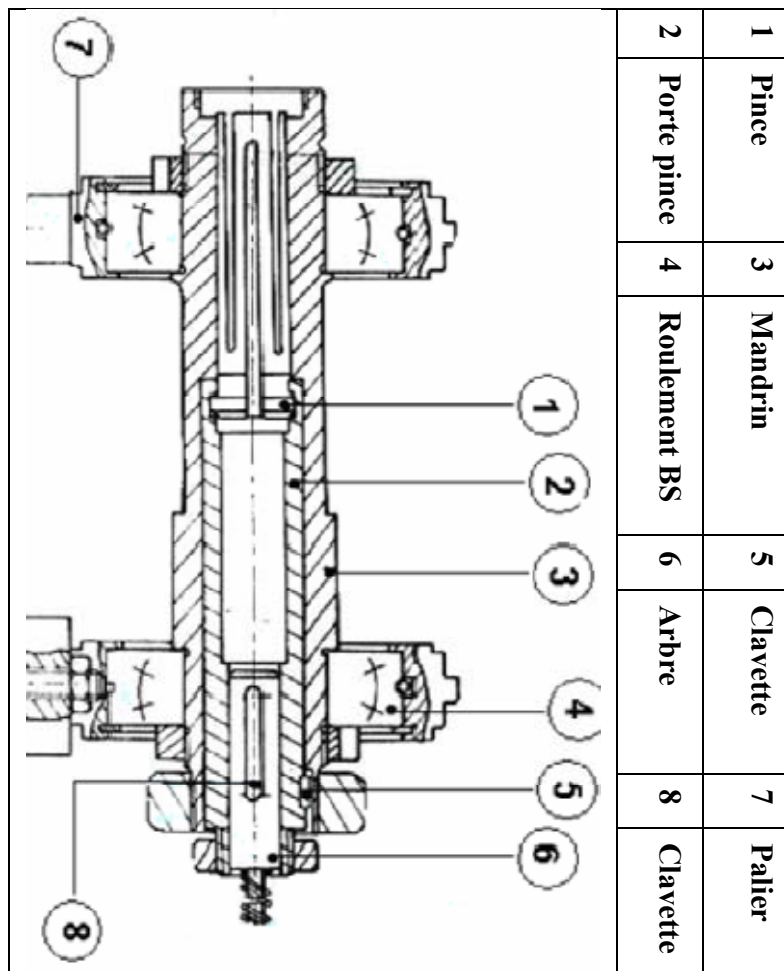


Figure III-3 : l'ancien système de fixation

II.2.1.1 Procédé de fonctionnement

L'éprouvette est serrée de chaque côté par l'intermédiaire d'une pince élastique logées dans des fourreaux de même conicité, les deux écrous mantes sur les fourreaux permettent de tirer le porte pince qui va à son tour serrer la pince.

II.2.2 Le diagnostic

Deux problèmes ont été rencontrés lors de la partie expérimentale :

- ❖ Le problème principal était l'endommagement des pincés de fixation des éprouvettes, où il y a eu rupture sur différents plans ce qui a rendu leur reproduction très difficile vu l'inexistence de documents précisant leurs cotes de fabrication. Ce qui a provoqué les phénomènes suivants :

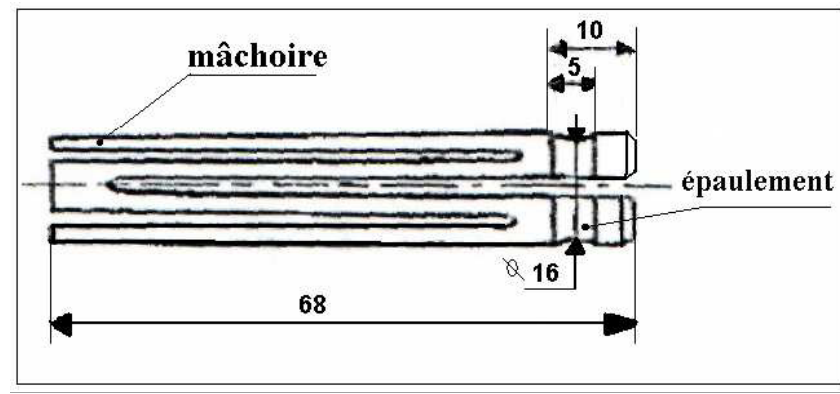


Figure III-4: l'ancienne pince (elle possède cinq mâchoires)

1. Glissement de l'éprouvette dans la pince : le taux de serrage qui n'est pas très élevé.
2. Cassure de la pince : il existe deux pinces dans la machine, elles sont toutes les deux partiellement cassées
 - La pince située dans la partie droite du système de fixation de l'éprouvette, présente deux mâchoires cassées.
 - La pince située dans la partie gauche du système de fixation de l'éprouvette, ne peut pas se loger dans le porte pince à cause de l'absence d'un épaulement.
3. l'inexistence de ces pinces dans le marché.

❖ Le second problème était l'accouplement élastique, qui a pour rôle de transmettre le mouvement de rotation du moteur vers les fourreaux, avait lâché. Il a été changé par un flexible (solution temporaire) de part et d'autre sur les axes de raccordement avec le moteur et le fourreau.



Photographie III-5 : l'ancien accouplement

II.3- Choix de la pince

Afin de concevoir un système de fixation qui répond aux besoins. On respecter dans nos choix les critères suivants :

II.3.1- Critères de choix de la pince

On constate donc que le problème principal se pose aux niveaux des pinces. Il faut donc concevoir un autre système de fixation en utilisant les nouvelles pinces disponibles sur le marché actuel, en vérifiant les conditions suivantes :

1. La performance : taux de serrage élevé

Le taux de serrage dépend de deux paramètres :

- ❖ L'angle du cône : plus l'angle est faible plus le serrage est élevé.
- ❖ Le coefficient de frottement : dépend de la matière de la pièce à serrer.

La force de serrage se calcule selon la formule suivante: $N = F.A$

N: Force de serrage [N]

F : Force de traction [N]

m : Coefficient de frottement

A: Amplification

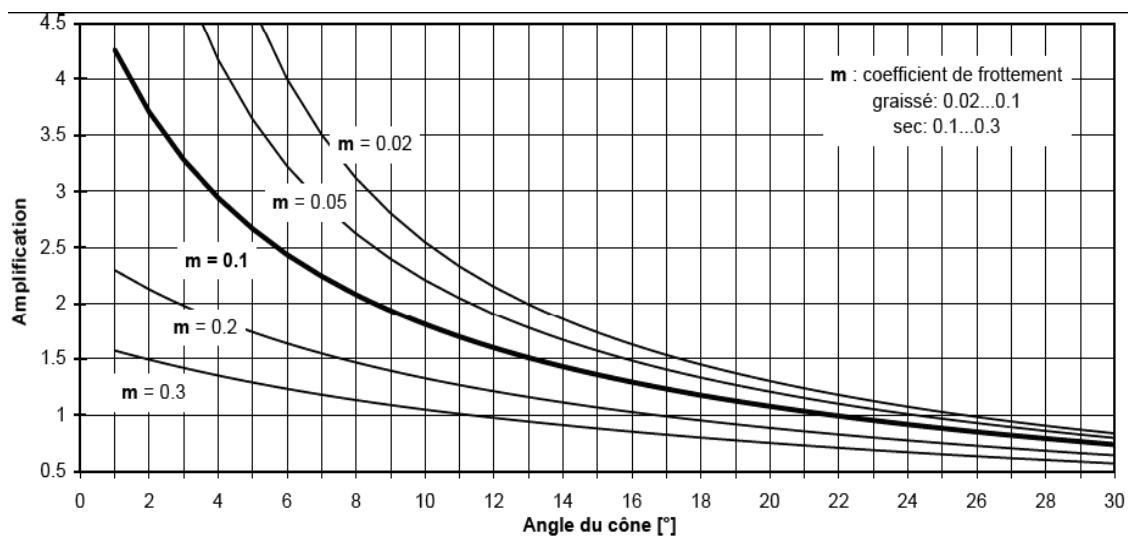


Figure III-6 : l'amplification en fonction de l'angle du cône de la pince [WEB 1]

2. Interchangeabilité facile de la pince



3. Les dimensions : pour pouvoir réaliser le système de fixation en respectant les dimensions imposées par l'ensemble du système.







Vu qu'on a des cotes très limitées par exemple le diamètre de la gorge est de 30mm et le diamètre de l'éprouvette est de 12mm. Pour cela les étapes qu'on doit prendre pour choisir ce système sont :

- a. Trouver les pinces.
- b. Les comparer et choisir celle qui vérifie ces conditions.

II.3.2- Types de pinces disponibles

Il existe plusieurs types de pinces, qui diffèrent par leur propriété et leur système de fixation, elles sont destinées aux machines de tournage, mais aussi pour les utilisateurs de pinces en général [WEB 1]. Voici quelque type de pinces :

| Pinces | Propriétés |
|--|---|
| Pinces d'avance A  | Indisponible sur le marché |
| Pinces poussées F  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ A partir d'une certaine grandeur d'alésage, les alésages ronds sont lisses jusqu'au diamètre 8,99 mm et à partir de 9 ils sont rainurés. Les diamètres sont rainurés afin d'obtenir un meilleur serrage de la pièce et ainsi pouvoir transmettre une plus grande force de serrage. [WEB 1] ❖ Le coût de la pince est de 2100 DA ❖ L'angle du cône 15°, ce qui diminue le taux de serrage. |

| | |
|--|---|
| <p>Pinces tirées avec filet extérieur w</p>  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Elles se distinguent des autres pinces tirées par leur filet extérieur, dont le diamètre nominal correspond pratiquement au diamètre du corps de la pince. [WEB 1] ❖ Le serrage s'effectue en tirant la pince dans son logement au moyen d'une clé de serrage. ❖ L'ouverture de ces pinces est très peu prononcée. Pour obtenir une bonne concentricité, il est recommandé d'employer une pince par 0,1 mm de diamètre d'alésage. [WEB 1] ❖ Les alésages de ces pinces sont lisses. ❖ Le coût de la pince est de 2300 DA ❖ Difficile de réaliser le filetage intérieur de la clé de serrage M14.75x1.25 <p>L'angle du cône 15°, ce qui diminue le taux de serrage.</p> |
| <p>Pinces tirées avec filet extérieur L</p>  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Difficile de réaliser le filetage intérieur de la clé de serrage. ❖ Elles se distinguent des autres pinces tirées par leur filet extérieur. |
| <p>Pinces tirées avec filet intérieur P:</p>  | <p>Indisponible sur le marché</p> |
| <p>Pinces pour usinage à haute vitesse D :</p>  | <p>Indisponible sur le marché</p> |
| <p>Pinces ESX :</p>  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Les pinces de ce groupe bénéficient d'un système d'extraction qui décolle la pince de son logement lors du desserrage de l'écrou. ❖ Le coût de la pince est de 1800 DA. |
| <p>Pinces EX :</p>  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Pour le Type EX : La capacité de serrage est limitée au diamètre nominal (Tolérance h12). ❖ Pour le Type ESX : <ul style="list-style-type: none"> • Pour la catégorie Gr. 9 : la capacité de serrage S= 0,5 mm en dessous du diamètre nominal pour tous les alésages. • Pour la catégorie Gr. 12 à 60 : 1 mm en dessous du diamètre nominal. [WEB 1] |



| | |
|---|----------------------------|
| Pincés entonnoirs ébauchés :  | Indisponible sur le marché |
| Pincés échelles ébauchés :  | Indisponible sur le marché |

Tableau III .1 : différents types de pincés [WEB 1]

II.3.3- Choix de la pince

D'après les propriétés présentées ci-dessus, on distingue trois pincés qui conviennent et qui sont : Pincés poussés F, EX et ESX. Si on compare leurs propriétés on remarque que :

- La pince ESX est la moins chère.
- Le taux de serrage de la pince ESX est plus fort.
- Les systèmes de fixation sont réalisables avec les mêmes conditions.

Ce qui explique le choix de la pince de la pince ESX comme élément de serrage.

II.3. 3.2- Propriété et dimension de la pince

Comme on est limité par le diamètre extérieur de la pince ($\varnothing 30$), ainsi Qu'au diamètre de l'éprouvette ($\varnothing 12$), on sera obligé de choisir la pince << ESX 20 >>.

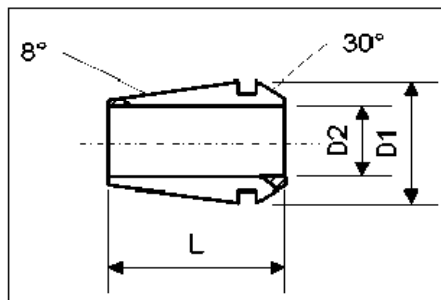


Figure III.7: Les dimensions de la pince
[WEB 1]

| Gr | L1 | D1 | D2 | S |
|-------|------|----|---------------|-------|
| ESX9 | 14.5 | 9 | 01-5 | 0.5 |
| ESX12 | 17 | 12 | 1-3 4-7 | 0.5-1 |
| ESX16 | 27.5 | 17 | 1-1.5 2-10 | 0.5-1 |
| ESX20 | 31.5 | 21 | 1-1.5 2-13 | 0.5-1 |
| ESX25 | 34 | 26 | 1-3 4-16 | 0.5-1 |
| ESX32 | 40 | 33 | 2-5 3-20 | 0.5-1 |
| ESX40 | 46 | 41 | 3-26 | 1 |
| ESX50 | 55 | 51 | 6-34 | 1 |

Tableau III.2 : Dimension des pinces ESX [WEB 1]

II.4- La conception avec le SolidWorks

II.4.1 La CAO

II.4.1.1- Définition de la CAO

La CAO est une technique dans laquelle l'homme et l'ordinateur sont rassemblés pour résoudre des problèmes techniques dans une équipe qui associe étroitement les meilleures qualités de chacun d'eux. En CAO on travail souvent en trois dimensions.

II.4.1.2- les avantages et les inconvénients de la CAO

- **Les avantages :** les principaux avantages cités par les utilisateurs sont :
 - Un processus de conception plus efficace ;
 - Meilleur précision ;
 - Réduction du temps de conception.
- **Les inconvénients :** il y a également quelques inconvénients comme :
 - Coût du matériel ;
 - Coût des formations.

II.4.2- Le SolidWorks

II.4.2.1- définitions

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique de modélisation volumique paramétrée basée sur de fonctions associatives, ou il est possible d'esquisser des idées et d'essayer différentes conceptions pour créer des modèles 3D.

II.4.2.2- les différentes utilisations de SolidWorks

Ce logiciel est utilisé par des concepteurs, des ingénieurs, des étudiants et d'autres professionnels pour produire des pièces, des assemblages et des mises en plan complexes. De plus il peut être utilisé dans plusieurs domaines, nous citons par exemple :

- ❖ Produit mécanique ;
- ❖ Produit de design industriel ;
- ❖ Ouvrage de génie civil.

II.4.2.3- l'utilité de SolidWorks dans notre travail

Le logiciel SolidWorks nous a permis de réaliser les étapes suivantes :

- Des maquettes virtuelles des pièces en 3D.
- Un rendu réaliste des pièces et des assemblages.
- Une animation du mécanisme.
- Des mises en plan des pièces et des assemblages.

II.4.3- La partie conception

Cette partie est considérée comme la partie principale dans le cadre de notre étude, car elle représente le processus de conception et de réalisation du système de fixation.

II.4.3.1- Les principales étapes de conception

Les étapes de conception prises sont les suivantes:

- a) *La prise de connaissance de la machine* : il est évident qu'avant toute conception, la première chose à faire c'est de bien connaître la machine, son principe de fonctionnement et les cotes principales à respecter
- b) *Prendre les cotes des pièces principales* : au départ, nous nous sommes référés aux sujets de PFE concernant la machine ; mais vu l'absence de quelques données essentielles, on était obligé de démontrer la machine et prendre les mesures nécessaires.

- c) *Analyser les problèmes* : qui se présentent au niveau de système de fixation et d'accouplement avec le moteur.
- d) *Dessin de chaque pièce de machine en 3D*
- e) *Les dessins de définition de chaque pièce* : surtout pour les pièces à usiner, afin d'établir les gammes d'usinage.

II.4.3.2- Définition des pièces à réaliser

On s'est basé lors du choix du système de fixation sur les trois critères suivants :

- ✓ un système simple ;
- ✓ réalisable ;
- ✓ moins coûteux.

Avec la disponibilité de la pince ESX, on réduit l'usinage de toutes les pièces du système de fixation pince aux trois pièces suivantes :

- Le porte pince (coté moteur);
- Le porte pince gauche ;
- L'écrou de serrage.

On remarque que les deux portes pince se ressemblent de l'extérieur, pour assurer la symétrie.

Après avoir sélectionné ces trois différentes pièces, l'étape suivante consiste à faire le dessin de définition de chacune d'elles. Pour cela, on doit d'abord déterminer les valeurs suivantes :

- Les côtes tolérancées.
- Les tolérances géométriques :
- Les états de surface

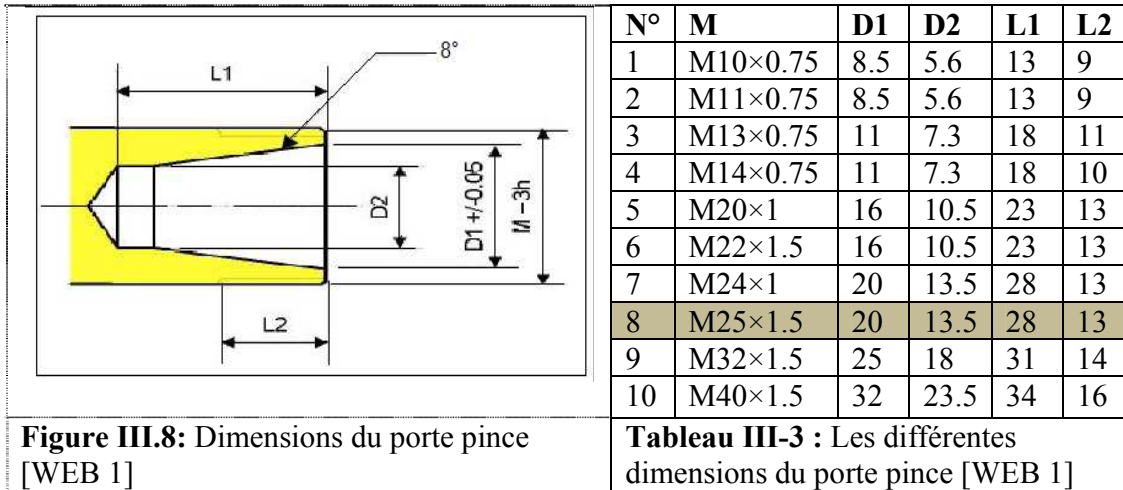
a) Pour les portes pince

On a un porte pince qui a une forme cylindrique, avec un alésage d'un côté et un cône intérieur de l'autre, plus les deux surfaces où est placé les roulements (logements de roulements).

Les côtes tolérancées : Les tolérances fonctionnelles seront déterminées en prenant compte des fonctions de chaque surface ce qui nous permettra d'obtenir les valeurs suivantes :

- ❖ Les surfaces où se placent les roulements: la bague intérieure est ajustée avec serrage sur la porte pince ce qui donne la tolérance de $\text{Ø}30 \text{ m}6$ (voir Chevalier : guide du dessinateur industriel page 268) [5].
- ❖ L'alésage avec rainure de clavette est un alésage normal de tolérance $\text{Ø}12\text{H}7$ (voir Chevalier : guide du dessinateur industriel page 52), toutes les tolérances associées à la clavette et la rainure de clavette sont déterminées dans la page 229 liaisons arbre-moyeu du même livre [5].

- ❖ Les côtes reliées au cône sont imposées par le constructeur des pinces voir la figure suivante :



Les meilleures dimensions qui conviennent à la pince ESX 20 correspondent à :

- Un filetage de diamètre correspondant au porte pince : M30×1.5
- D1=20 ; D2= 13.5 ; L1=28 ; L2=13
 - ❖ Les autres côtes qui ne sont pas dotées d'une grande précision vue leur fonction, leur tolérance sera de ± 0,1.

Les tolérances géométriques :

La forme de la pièce et le fonctionnement des surfaces nécessite une relation de coaxialité entre le cône (logement de l'éprouvette) et le logement des deux roulements.

L'état de surface:

L'aptitude d'une pièce, à une fonction donnée, dépend d'un ensemble de conditions, notamment des caractéristiques de son état de surface, en se basant sur les tables qui lient les états de surface à leur fonction et au procédés d'élaboration (voir : Guide du dessinateur industriel page 63,64) [5] on aura les valeurs suivantes :

- pour les roulements la surface doit avoir une rugosité trait faible Ra=0,08 ;
- pour l'alésage avec rainure la valeur de la rugosité prise est de Ra= 3,2 ;
- pour le cône intérieur de la pince, la valeur de la rugosité prise est de Ra= 1,6 ;

b) L'écrou de serrage

Les côtes tolérancées: Comme on n'a pas de cote de grandes précisions, les valeurs de toutes les cotes seront de ±0,1.

Les tolérances géométriques :

Il est évident que le filetage intérieur doit être coaxial avec le cône intérieur, la coaxialité sera de 0,01.

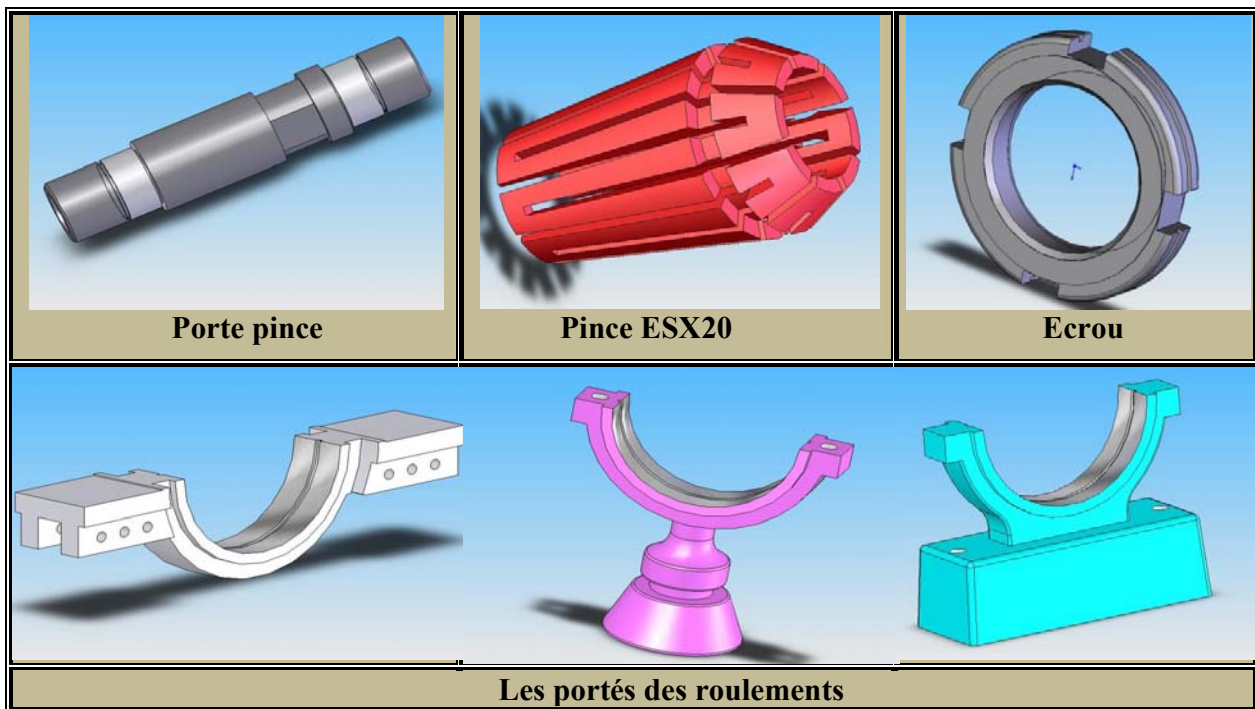
L'état de surface:

Pour le cône intérieur, pour que la pince adhère la valeur de la rugosité prise est de $Ra = 3,2$.

II.4.3.3- Les pièces en 3D

Après avoir défini les cotes et les tolérances des pièces, nous passons au dessin de définition, avec SolidWorks, nous devons d'abord dessiner le dessin en 3D, puis la coupe, les cotes et les tolérances.

Comme on ne peut détailler la procédure de dessin de chacune des pièces, on va juste vous donner un aperçu sur le travail effectué, voici pièces essentielles dessinées en 3D avec le SolidWorks:



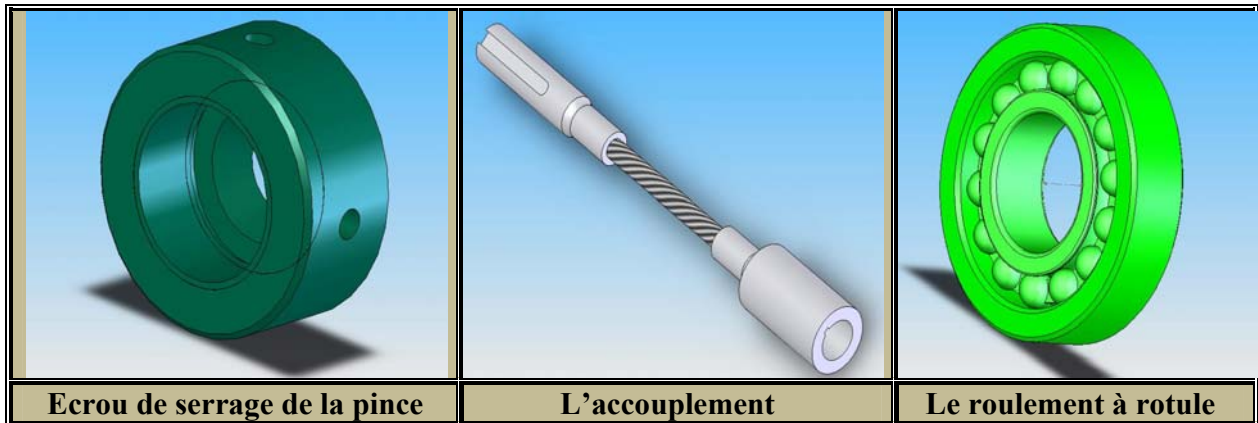


Figure III.9 : pièces dessinées avec SolidWorks

Remarque : Les dessins de définition et d'assemblage sont représentés en annexe A.

II.4.3.4- La mise en plan des dessins

Pour donner les caractéristiques générales des pièces, on vous présente les dessins de définition dans l'annexe. Pour ce là, on procédé de la manière suivante :

- Préparation de la feuille et du cartouche (modifier le fond du plan).
- Choisir les vues les mieux représentatives des pièces.

II.4.3.5- L'assemblage des pièces

On a assemblé le système de fixation composant par composant, voici les assemblages obtenus :

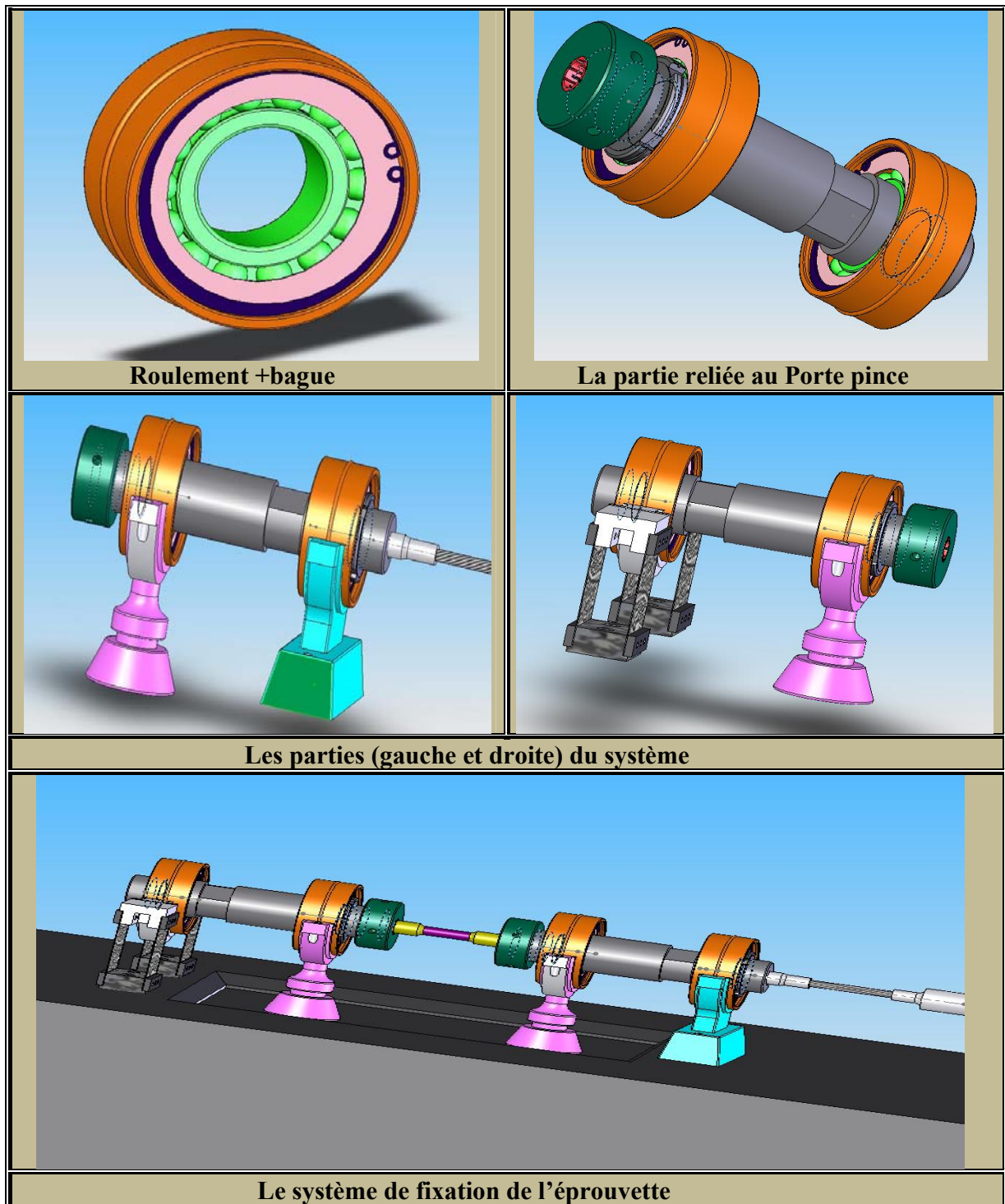


Figure III.10 : Assemblages réalisés avec SolidWorks

Conclusion

La conception du système complet de fixation a été motivée par le fait que les éléments d'origine ont été complètement endommagés. Les différents éléments que nous proposons sont conçus avec

le souci d'avoir des éléments facilement réalisables et disponibles sur le marché en ce qui concerne les éléments tels que les roulements et les pinces de serrage.

CHAPITRE IV

Analyse de fabrication

IV.1 Méthodologie

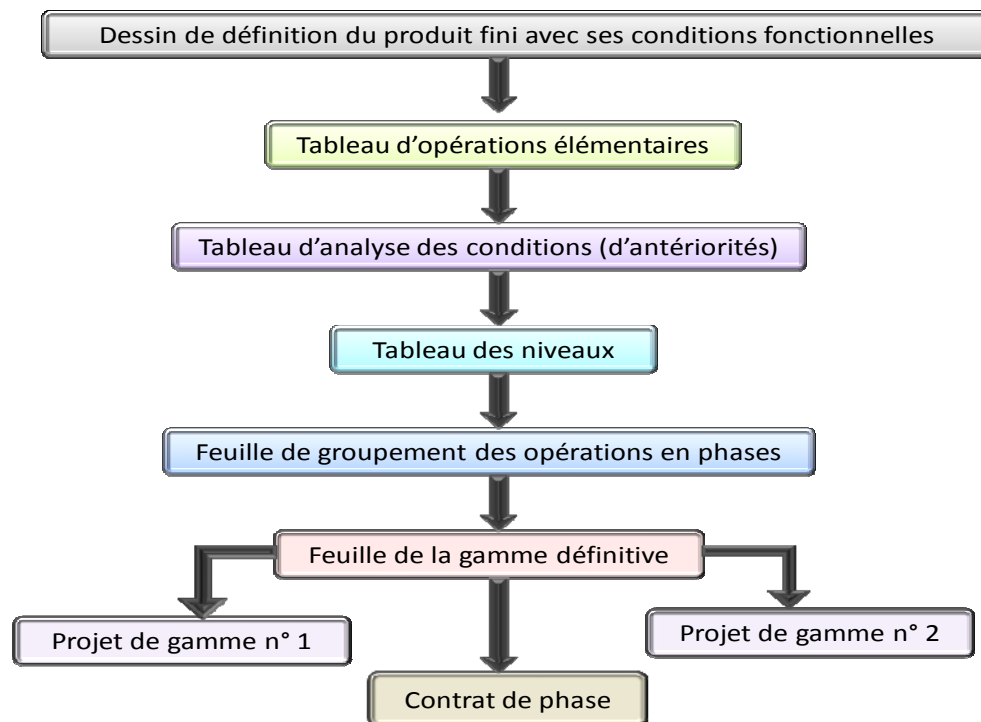


Figure IV.1 : schéma directeur de la méthode développée de traitement de gammes d'usinage.

IV.1.1 Principe de la méthode développée

IV.1.1.1 repérage des surfaces

Le repérage des surfaces (brutes et usinées) se fait après l'étude de dessin de définition. Le repérage des surfaces usinées se fait par des chiffres par des lettres majuscules suivies d'un indice.

Le graphe de repérage met en évidence la cotation fonctionnelle entre les surfaces suivant les axes (OX, OY, OZ), ainsi, il détermine les transfères de cotes, lorsque deux surface ne possèdent pas de cotes de liaison et que l'une d'entre elles sert de référentiel.

➤ les contraintes dimensionnelles

Ce sont des côtes de liaisons entre les surfaces exigées par le dessin de définition avec des intervalles de tolérances bien précis.

➤ les contraintes géométriques: il existe deux types

De position : on cite le parallélisme, la perpendicularité, la-axialité, l'inclinaison etc.

De forme : la rectitude, la planéité, la circularité, la cylindricité....etc.

Dans le cas d'existence de contraintes géométrique sur le dessin de définition, elles doivent être citées, soit sur le même graphe des contraintes dimensionnelles ou on leurs créant un spécial.

➤ **les contraintes technologiques**

Ces contraintes dépendent des moyens utilisés pour la fabrication. Elles consistent à protéger le matériel de l'atelier et respecte les exigences du bureau d'étude et augmenter la qualité du produit.

➤ **les contraintes économiques**

Le coût de fabrication, la durée de l'usinage et l'usure des outils. Nous conditionnent à faire un choix précis sur la fabrication de façon à ce que le cout de revient à l'unité soit minimisé au plus que possible

IV.1.1.2 Tableau des opérations élémentaires

Le tableau des opérations élémentaires regroupe les résultats de l'analyse de la réalisation des surfaces élémentaires : ébauche, demi-finition et finition. Il existe aussi la super finition qui permet d'obtenir des surfaces avec une très grande précision.

Le choix du nombre d'opérations élémentaires

Le choix du nombre d'opération est déterminé à partir de l'intervalle de tolérances, la qualité et d'état de surface.

IV.1.1.3 Tableau des groupements évidents

Dans ce tableau sont regroupées les surfaces qui peuvent être réalisées par le même outil ou plusieurs outils associés. Les surfaces groupées sont désignées par une lettre majuscule.

IV.1.1.4 Tableau des contraintes d'antériorité

Ce tableau s'établit à partir des opérations élémentaires et du dessin de définition, dans la colonne « opération », nous classons l'ordre des surfaces (brutes, usinées et groupées) avec leurs symbolisations et nous cherchons les contraintes d'antériorité de chaque opération élémentaire d'ordre géométrique technique technologique et économique.

IV.1.1.5 Tableau des niveaux

Sur ce tableau qui est une matrice carrée (figure des entrées et des sorties). On poste toutes les opérations élémentaires de toutes les surfaces avec les brutes sur les premiers lignes et colonnes. L'exploitation de ce tableau se fait suivant le tableau des contraintes d'antériorités. Il arrive par fois que deux opérations élémentaires soient en contraintes

d'antériorités réciproques. Il y a donc impossibilité de poursuivre l'étude, donc il faut faire un choix judicieux et supprimer ou négliger celle qui n'est pas impérative.

IV.1.1.6 Tableau des groupements en phase

Une fois les niveaux déterminés, on passe aux groupements en phase qui consistent à placer les niveaux horizontalement. Sur les lignes de chaque niveau ; on place les opérations élémentaires de ce niveau, notons qu'un niveau ne constitue pas une phase. En fonction des conditions économiques et du parc machine on peut grouper les opérations élémentaires en phases d'usinage.

IV.1.1.7 le projet de gamme

A partir du tableau des groupements en phases, on procède à la rédaction du processus d'usinage envisagé. On désigne toutes les opérations dans des phases ou sous phases.

IV.1.2 Simulation d'usinage

La simulation d'usinage permet le calcul des cotes brutes (afin d'usiner une pièce correcte en mettant en œuvre une quantité minimale de matière brute), des cotes de fabrication, et vérifier la validité du processus d'usinage.

Pour la simulation d'usinage il y a deux conditions à respecter :

- ✓ Condition du bureau des études BE : les cotes conditions.
- ✓ Condition du bureau des méthodes BM : le copeau minimum, la tolérance économique d'usinage.

IV.1.2.1 Calcul des surépaisseurs d'usinage

La réalisation d'un usinage par enlèvement de métal nécessite, suivant les procédés mis en œuvre, une surépaisseur comprise entre deux limites.

Valeur minimale : elle est fonction de forme de l'arrête tranchante.

Valeur maximale : elle est fonction :

- de la puissance de la machine ;
- de l'état de surface et de l'IT demandés ;
- de la technique utilisée.

IV.1.2.1.1 Copeau minimum [12]

Le copeau minimum « cpm » est une condition du BM ou même titre que toute condition. Il est important lors de l'usinage de garantir à l'outil le cpm afin d'éviter l'écrouissage de la surface. Nous donnons quelques valeurs de copeau minimum déterminées uniquement par l'expérimentation.

| Opérations | Coupeau minimum |
|-------------------------|-----------------|
| Ecroutage | 1.5 à 4 |
| Ebauche après écroutage | 0.5 |
| Ebauche directe | 1 |
| Demi-finition | 0.5 |
| finition | 0.2 |

Tableau IV.1 : Les valeurs indicatives du copeau minimal cpm.

IV.1.2.1.2 Tolérances économiques

Les côtes de fabrications sont assorties d'une tolérance. Pour chaque procédé de fabrication, suivant l'opération effectuée (ébauche, demi-finition, finition), il existe une satisfaisant, compte tenu de la précision de la machine et du prix de revient.

| Mode d'usinage | Ebauche | ½ Finition | Finition |
|-----------------------------|---------|------------|----------|
| Sciage | 2 | - | - |
| Tournage- fraisage | 0.4 | 0.2 | 0.05 |
| Rabotage | 0.4 | 0.2 | 0.1 |
| Perçage | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| Alésage (outil d'enveloppe) | 0.3 | 0.15 | 0.03 |
| Alésage (outil de forme) | 0.2 | 0.1 | 0.03 |
| Rectification | 0.2 | 0.05 | 0.01 |
| Brochage | 0.1 | 0.03 | 0.01 |

Tableau IV.2 : Les valeurs indicatives des tolérances économiques.

IV.1.3 Choix des machines

Dans une gamme, les machines doivent être choisies afin que les deux conditions suivantes soient satisfaites :

- ✓ Les tolérances de forme, de position, de dimension, d'état de surface doivent être respectées.
- ✓ Le prix de revient de l'usinage doit être minimisé, surtout dans les productions de série pour lesquelles l'économie d'argent réalisée sur une pièce et multipliée par le nombre de pièces de la série.

Pour chaque machine on doit envisager l'emploi, on doit connaître :

- Le mode d'utilisation de l'outil ;
- Les équipements standards ;
- Les équipements spéciaux ;
- Les valeurs de déformations de l'ensemble « machine-outil-pièce » et la précision possible ;

IV.1.4 Choix des outils de coupe

Il existe actuellement une grande variété d'outils apte à réaliser un usinage. Chaque type d'outil a son domaine d'emploi particulier. Le choix des outils de coupe dépend de :

- La précision à réaliser ;
- La productivité ;
- La forme (suivant l'opération à exécuter) ;
- Le sens (le déplacement de l'outil à droite ou à gauche, vers le haut ou vers le bas) ;
- Le montage : à l'endroit dans le cas général ou à l'envers.

IV.1.4.1 Matière de coupe

Carbure métallique : ils permettent des vitesses de coupe élevées et de grandes passes dans l'usinage de divers matériaux. Pour un travail en grande série, on appelle souvent au carbure métallique pour arriver à diminuer le temps d'affûtage des outils et de l'usure.

IV.1.4.2 Choix des plaquettes

La norme NF E60-310 est destinée à la désignation des types des plaquettes amovibles. On les désigne par 9 symboles dont 7 obligatoires :

- Forme (ronde, carrée, etc..) ;
- Angle de dépouille ;
- Tolérances ;
- Types de plaquette (réversible ou non) ;
- Dimension de l'arrête ;
- Epaisseur ;
- Rayon de bec.

Et 9. Symboles complémentaire (selon le fabricant).

Choix du type de plaquette : Le choix du type de plaquette est déterminé en fonction de la matière et des conditions de coupe, les qualités des plaquettes pour un critère déterminé sont caractérisées par des chiffres.

Choix du rayon de bec : Le rayon de bec r_ϵ est tangent aux deux arrêtes de coupe, qui se rencontrent en un point théorique P qui ne présente aucun intérêt sur le plan fonctionnel. Le choix de r_ϵ se fait en fonction de l'opération à effectuer, ébauche ou finition. En pratique les rayons les plus couramment utilisés sont 1,2 et 1,6.

Pour l'ébauche il est essentiel que l'avance choisie ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

Tableau des avances maximales pour les différents rayons de bec :

| | | | | |
|----------------------|-------------|-----------|---------|-----------|
| Rayon du bec (mm) | 0.4 | 0.8 | 1.8 | 1.6 |
| Avance max f (mm/tr) | 0.25 à 0.35 | 0.4 à 0.7 | 0.5 à 1 | 0.7 à 1.3 |

Tableau IV.3 : Avances maximales pour les différents rayons de bec.

Travaux de finition

Le rayon de bec conditionne la rugosité de la surface si on présume que la pièce est la reproduction fidèle d'une partie du profil de l'outil à l'échelle micro géométrique, la

$$\text{profondeur totale de rugosité vaut : } R_t = \frac{f^2}{8 \times r_e} \times 1000 \rightarrow f = \sqrt{\frac{8r \times R_t}{1000}}$$

Tableau des conversions : [13]

| | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| $R_t(\mu\text{m})$ | 4 | 8 | 15 | 27 | 45 |
| $R_a(\mu\text{m})$ | 0.8 | 1.2 | 3.2 | 6.3 | 12.5 |

Tableau IV.4 : Conversions de la rugosité.

IV.1.5 Choix des conditions coupe

Le choix des conditions de coupe (V , f , a , r_e , etc..) pour un matériau déterminé dépend du type d'opération à réaliser. Les principaux paramètres à considérer étant :

- La durée de vie T de l'arrête de coupe (temps effectué de coupe avec la même arrête).
- Les efforts de coupe (limite de puissance de la machine).
- En ébauche, le débit de copeaux maximal au cout minimal est recherché.
- En finition, on recherche la qualité dimensionnelle, micro géométrique et macro géométrique de la surface.

Le principal paramètre à prendre en compte étant la rugosité de la surface usinée.

| Tableau des valeurs indicatives des conditions de coupe en tournage | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------|-------------------------------------|------|---------------|-----------|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|
| Désignation | | Chariotage | | | | Tronçonnage | | | | | | Filetage | | | |
| Matière | Résistance (daN/mm ²) ou dureté HB | Outil A.R.S | | Outil carbure | | Outil A.R.S | | | Outil carbure | | | A.R.S | Carbure | | |
| | | V90 de Coupe d'avance $f=a/10$ | | V45 de coupe d'avance $f=a/8$ | | V90 m/min | Avance par tour pour larg. de coupe | | | V45 m/min | Avance par tour pour larg. De coupe | | | V m/min | V m/min |
| | | a: 3 à 5 | a: 0.5 à 1 | a: 3 à 5 | a: 0.5 à 1 | | 3 | 6 | 12 | | 3 | 6 | 12 | | |
| 35NCD16 | 76-95 | 22-25 | 29-33 | 105-115 | 135-150 | 16-18 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 58-65 | 0.1 | 0.15 | 0.08 | 13-16 | 65-95 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|------|------|------|-------|-----|------|------|-------|-------|
| 25 CD 16 | 95-115 | 18-20 | 23-26 | 100-110 | 120-130 | 14-18 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 54-60 | 0.1 | 0.15 | 0.08 | 13-16 | 65-95 |
|----------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|------|------|------|-------|-----|------|------|-------|-------|

Tableau IV.5 : Valeurs indicatives des vitesses de coupe

Valeurs indicatives de K : (Pour la durée de vie des outils)

| | | Tournage | Fraisage |
|--------|---------|----------|----------|
| Aciers | ARS | -8.3 | -5 |
| | Carbure | -5 | -3.1 |

Tableau IV.6 : Valeurs indicatives de K

Rectification cylindrique extérieure (conditions de coupe) [13] :

| Matière | Dureté | Vitesse | | Engagement | | Largeur de passe f en mm/t | Type de meule |
|---------|--------|-------------|---------------|------------|----------|----------------------------|---------------|
| | | meule (m/s) | pièce (m/min) | Ebauche | Finition | | |
| Acier | <45HRC | 30 – 35 | 20 – 32 | ≤ 0.05 | ≤ 0.01 | E/2 à E/6 | A60L5VG |
| alliés | ≥ 4HRC | 30 - 35 | 20 - 32 | ≤ 0.05 | ≤ 0.005 | E/4 à E/8 | 38A60L5VG |

IV.1.5.1 Les efforts de coupe

L'enlèvement de matière avec des outils coupant provoque sur l'outil un effort F qui se décompose en :

Un effort principale de coupe F_c ; tel que $F_c = K_s \cdot a \cdot f$

Un effort d'avance F_a ; tel que $F_a \approx F_c(0.15 - 0.1 \cos K_r)$

Un effort de pénétration F_p ; tel que $F_p = 0.3 F_c$

a_p : engagement en mm.

f : avance en mm par tour.

K_s : pression spécifique de coupe en N/mm²

K_r : angle de direction d'arête de coupe.

IV.1.5.2 Puissance absorbée

Dans le sens du MC :

$$Nc[w] = Fc[N] \times Vc[m/s]$$

dans le sens de Ma :

$$Na[w] = Fa[N] \times Vf [m/s]$$

V_c : vitesse de coupe. Avec : $N\pi D = 1000 \cdot V_c$ (en tournage)

V_f : vitesse d'avance. Avec : $V_f = f_z \cdot N$ (en tournage)

N : le taux de rotation de la pièce en tournage.

IV.1.5.3 Pression spécifique de coupe K_s

A chaque matériau et type d'usinage donné correspond à une valeur expérimentale de la pression spécifique de coupe qui a pour expression :

$$K_s = \frac{F_c(N)}{S(mm^2)} \text{ avec } S \text{ est l'aire de la section de coupe.}$$

La valeur de la pression spécifique de coupe K_s est en fonction des différents facteurs d'influence : $k_s = C k_1 k_2$

Où C [N/mm²] dépend des matériaux. K_1 et K_2 étant en fonction des angles de coupe.

| Expression de K_s (pression spécifique de coupe) | |
|--|---|
| Procédés d'usinage | Formules de calcul de K_s |
| Tournage | $K_s = C \cdot (f \cdot \sin K_r)^n \cdot (1 + m \cdot \theta)$ |
| Fraisage | $K_s = C \cdot \left(\sin K \cdot \frac{360fL}{\pi \phi D} \right)^n \cdot (1 + m \cdot \theta)$ |
| Perçage | $K_s = C \cdot \left(\frac{f}{2} \cdot \sin K \right)^n \cdot (1 + m \cdot \theta)$ |
| Brochage | $K_s = C h^n$ |

IV.1.5.4 Les facteurs d'influence

1. *Influence de la matière usinée* [13] : la valeur de C dépend des caractéristiques mécaniques et structurales des matériaux usinés.

| Valeurs indicatives de C | | | | |
|----------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------|
| Matière à usiner | | R [N/mm ²] | C [N/mm ²] | Nuances NF |
| Aciers alliés ≤5% | Au Cr+Mo | 600 -750 | 1650 | 18 CD 4 |
| | Au Ni+Cr | 750 -950 | 2300 | 35 CD 4 |
| | | 950 -1150 | 2900 | 40 NCD 7 |

2. *Influence des angles de coupe* [13] :

Angle de direction d'arête K_r : la pression spécifique de coupe diminue, lorsque l'épaisseur de la section de coupe augmente. On a :

$$K_1 = h^n \quad \text{avec} \quad h = f \cdot \sin K_r$$

Angle de pente γ_0 : la pression spécifique diminue lorsque la pente γ_0 augmente. On a :

$$K_2 = 1 + (m \cdot \theta) \quad \theta = \gamma_0 - \gamma_e \quad \text{pour les aciers : } n = -2 \text{ et } m = 0.008$$

IV.1.6 La programmation

On dispose d'un tour numérique dans notre département. Il est préférable de faire la réalisation de nos pièces sur un tour commande numérique vu son avantage par rapport au tour ordinaire.

IV.1.6.1 Définition

Programmer consiste à transposer la gamme d'usinage en langage compris par la machine. Le langage alphanumérique précise le code. En programmation manuelle, le langage utilise est décomposé comme suit :

- Le format qui caractérise les mots utilisés,
- Les adresses, ce sont les lettres débutant un mot d'un langage machine. Celle-ci précise la fonction générale à commander (G, X, Y, Z, F, S, T, M).
- Les mots sont un ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres constituant une information (X25.236).
- Les blocs sont des groupes de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage (N150 GOI X200. Y 125.235 F250).
- Les fonctions sont tous les mots d'un langage machine autres que ceux définissant les cotes, et nécessaires pour assurer le fonctionnement d'une machine-outil. On trouve :
- les fonctions préparatoires G
- les fonctions vitesse d'avance F
- les fonctions vitesse de broche S
- les fonctions outil T
- les fonctions auxiliaires M (mise en route de l'arrosage, de la broche, blocage ou déblocage de plateau ...). Attention, certaines fonctions auxiliaires sont à prévoir dans le cahier des charges ou le plus tard à préciser au moment de la commande !

IV.1.6.2 La préparation du travail

On ne peut pas et ne doit pas établir le programme MOCN directement (le temps de mise au point serait trop long), il faut impérativement préparer le travail. Cette préparation consiste à avoir un dossier méthode comprenant :

- 1 - une gamme de fabrication sur laquelle il y a le descriptif du cycle de fabrication de la pièce ;
- 2 - une fiche suiveuse qui découle de la gamme et permet d'avoir le numéro d'opération élémentaire et de savoir à tout moment l'état d'avancement de la pièce ;
- 3 - une fiche de position pièce-machine pour identifier la position exacte de la pièce sur la machine,
- 4 - des fiches d'opération pour retrouver tous les détails de l'opération (c'est un document très important pour l'opérateur, car il retrouve l'ordre d'exécution de son programme).

5 - des fiches outils pour identifier parfaitement l'outil coupant et son attachement et savoir les correcteurs qui sont rattachés à l'outil.

6 - il faut de plus préparer la géométrie de la pièce (arrivée rapide d'outil, prévoir la surépaisseur de la pièce, le nombre de passes à effectuer..).

7 - Définir les origines. Dès la mise sous tension de la machine, avant chaque travail, le système doit connaître diverses positions :

- *L'origine absolue* : de la mesure sur chaque axe, c'est le point du référentiel mesure défini par un taquet et l'impulsion zéro du capteur de mesure. L'origine machine et l'origine mesure sont confondus par les paramètres machine des cotes X, Y, Z.
- *L'origine programme* : C'est l'origine du trièdre de référence à partir de laquelle le programmeur établit le programme de la pièce.
- *L'origine pièce ou prise d'origine* : C'est le point sur lequel on peut se mettre en position référentielle, soit directement soit par l'intermédiaire de cales étalon, centreur, comparateur ou palpeur.

Lorsque l'origine programme et l'origine pièce ne sont pas confondues, l'opérateur inclut à l'aide du clavier, un décalage, pris en compte systématiquement pour définir l'écart entre les deux origines.

8 - Identifier la MOCN.

IV.2 la gamme d'usinage du porte pince

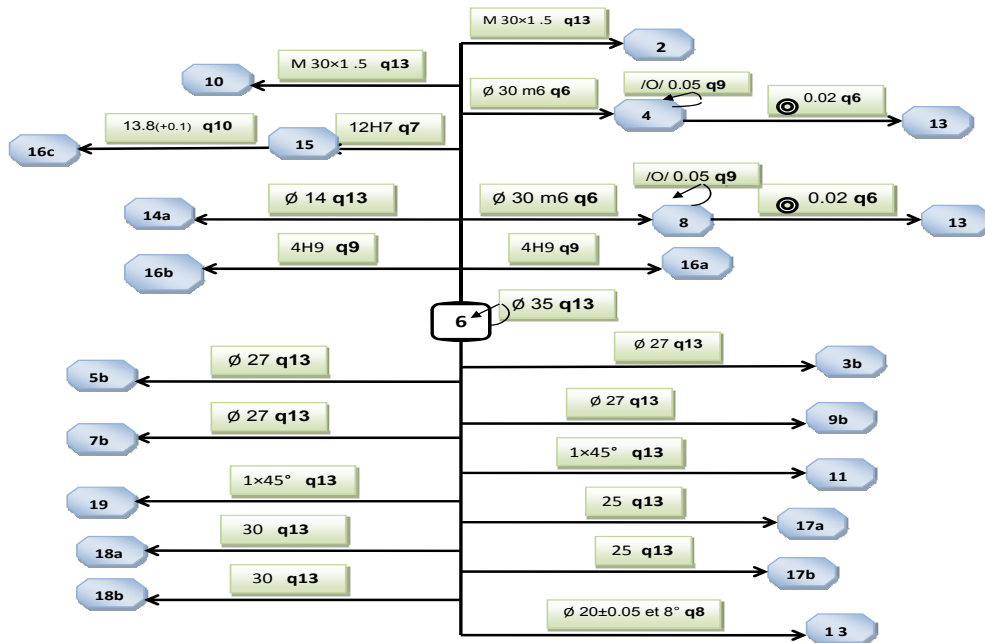
IV.2.1 Inventaire des surfaces

Les chiffres de 1,..21 désignent les surfaces usinées.

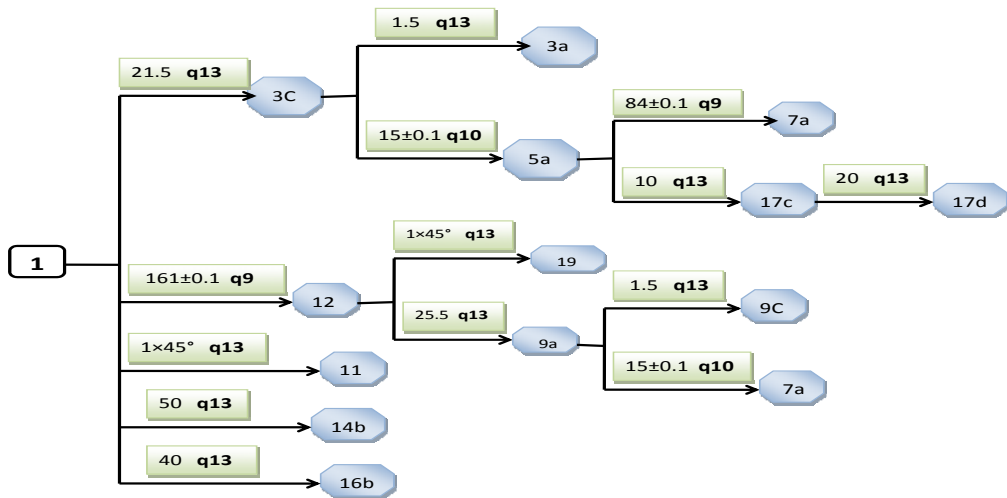
IV.2 .2 Les graphes des liaisons

1- contraintes dimensionnelles et géométriques

a) Selon OX



b) Selon OZ



2- contraintes technologiques

Pour éviter le travail en choc ou les discontinuités :

- 6 avant 17 et 18.
- 17 avant 18.

Pour l'amorçage de l'attaque du filetage :

- 11 avant 2 fileté.
- 19 avant 10 fileté.

Pour les contraintes de bavures :

- 2 et 4 avant 3 et 5.
- 8 et 10 avant 9 et 7.
- 15 avant 16.
- 1 et 2 avant 11.
- 12 et 10 avant 19.

Perçage de petit diamètre avant le grand : 15 avant 14

3- contraintes économiques

Pour protéger l'outil : 14 avant 13

Moindre usinage : 6 avant le 4, 2, 8 et 10

IV.2.3 Tableau des opérations élémentaires

| SURFACE | Cotes de liaisons aux surfaces | | Spécifications | | | Opérations élémentaires | |
|---------|--------------------------------|-------|----------------|---------|---|-------------------------|---------------|
| | Usinée | brute | Ra | Qualité | R | opérations | symbolisation |
| 1 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 2 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F+ (filetage) | |
| 3a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 3b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 3c | * | | 6.3 | 10 | 1 | F | |
| 4 | * | | 0.8 | 6 | 1 | E+F/2+F+ (rect) | |
| 5a | * | | 6.3 | 9 | 1 | F+ (rect) | |
| 5b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 5c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 6a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 6b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7a | * | | 6.3 | 9 | 1 | F+ (rect) | |
| 7b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 8 | * | | 0.8 | 6 | 1 | E+F/2+F+ (rect) | |
| 9a | * | | 6.3 | 10 | 1 | F | |
| 9b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 9c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 10 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F+ (filetage) | |
| 11 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 12 | * | | 6.3 | 9 | 1 | F | |
| 13 | * | | 1.6 | 6 | 1 | E+F/2+F | |
| 14a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 14b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 15 | * | | 3.2 | 7 | 1 | E+F/2+F | |
| 16a | * | | 6.3 | 9 | 1 | F | |
| 16b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 16c | * | | 6.3 | 10 | 1 | F | |
| 16d | * | | 6.3 | 9 | 1 | F | |

| | | | | | | | |
|-----|---|--|-----|----|---|---|--|
| 17a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 17b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 17c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 17d | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 18a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 18b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 19 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |

IV.2.4 Tableau de regroupement de surfaces

| repère | Surfaces associées | Motif de regroupement | Opération élémentaire |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3 | 3a ,3b et 3c | Saignée simultanée | 3F |
| 5 | 5a, 5b et 5c | Saignée simultanée | 5F |
| 6 | 6a et 6b | Dressage simultané | 6F |
| 7 | 7a, 7b et 7c | Saignée simultanée | 7F |
| 9 | 9a, 9b et 9c | Saignée simultanée | 9F |
| 14 | 14a et 14b | Perçage simultané | 14F |
| 16 | 16a, 16b, 16c et 16d | Rainurage simultané | 16F |
| 17 | 17a, 17b, 17c et 17d | Epaulement simultané | 17F |
| 18 | 18a et 18b | Fraisage simultané | 18F |

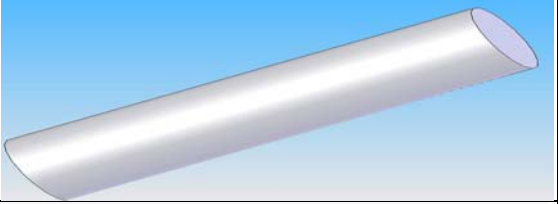
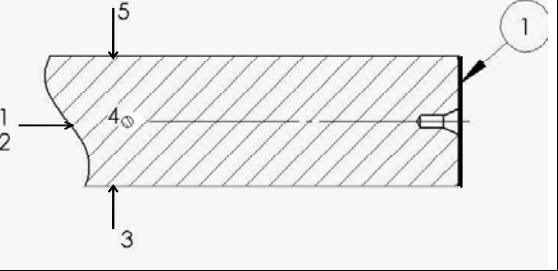
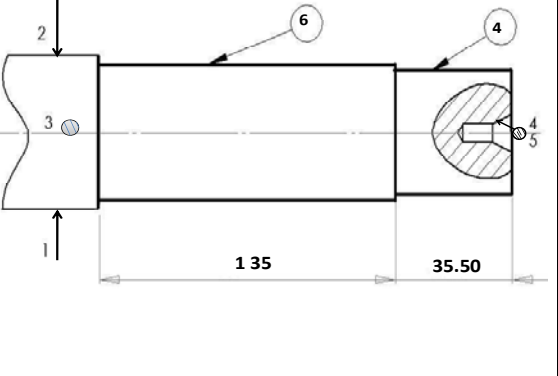
IV.2.5 Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité

| REP SURF | Métrie | Technologiques | | Economiques |
|--------------|---------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| | Dimensionnelles et géométriques | Opérations | divers | |
| 1F | | | | |
| 2F | 1F, 6F | | | 6F, 4F |
| 2fil | | 2F | 11F | |
| 3F | 1F, 6F | | 2F, 4F | |
| 4E | 6F | | | 6F |
| 4F/2 | | 4E | | |
| 4F | | 4F/2 | | |
| 5F | 3F, 6F | | 4F | |
| 4et5 rect | | 4F et 5F | | |
| 6F | | | 1F, 12F | |
| 7F | 9F, 6F | | 8F | |
| 8E | 6F | | | 6F |
| 8F/2 | | 8E | | |
| 8F | | 8F/2 | | |
| 7et8 rect | | 7F et 8F | | |
| 9F | 6F, 12F | | 8F et 10F | |
| 10F | 6F | | | 6F, 8F |
| 10fil | | 10F | 19F | |
| 11F | 2F, 1F | | | |
| 12F | 1F | | | |
| 13E | 6F, 8F, 4F | | | 14F |
| 13F/2 | | 13 E | | |
| 13F | | 13F/2 | | |
| 14F | 6F, 1F | | 15E | |
| 15 E | 6F | | | |
| 15F/2 | | 15 E | | |
| 15 F | | 15F/2 | | |

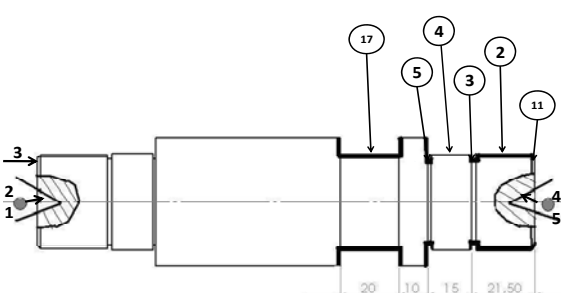
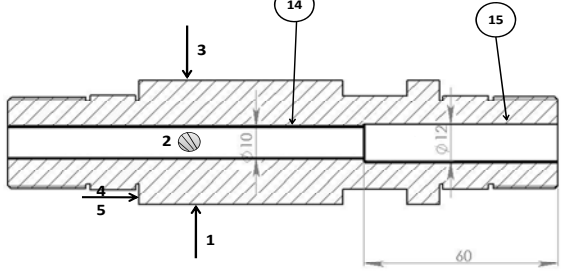
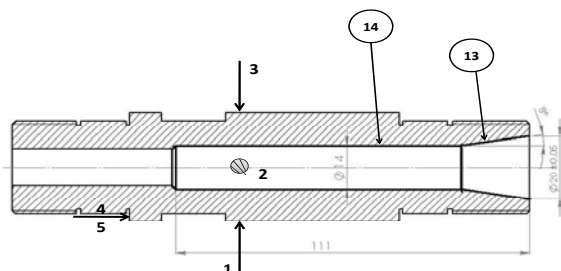
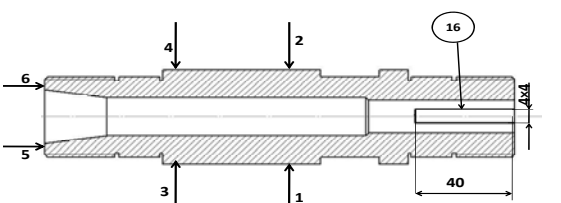
IV.2.6 Tableau des niveaux

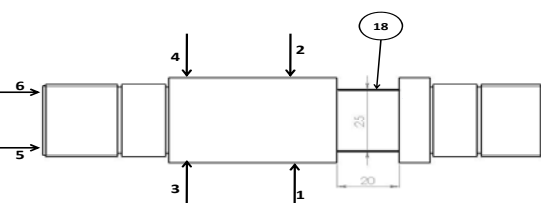
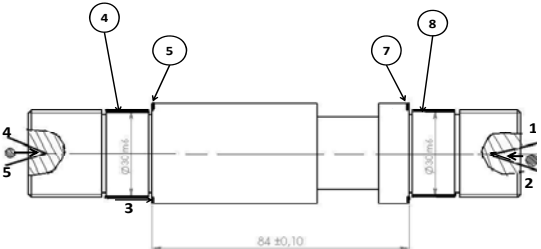
| Niveaux | Les opérations |
|---------|--------------------------|
| 1 | 1F |
| 2 | 12F |
| 3 | 6F; |
| 4 | 15E; 8E; 4E |
| 5 | 4F/2; 8F/2; 15F/2; 14F |
| 6 | 4F; 8F; 15F |
| 7 | 2F; 10F; 13 E; 16F |
| 8 | 3F; 9F; 11F; 19F ; 13F/2 |
| 9 | 5F; 7F ; 13F |
| 10 | 17F |
| 11 | 18F |

IV.2.7 Gamme d'usinage

| N° de Phase | N° de S-P | Désignation des phases. Sous-phases et Opérations | Machine utilisée | Appareillage, outils-coupants, Vérification | Croquis de la pièce |
|-------------|-----------|--|-----------------------------|--|--|
| 10 | | <u>Contrôle du brut :</u> Cotes et spécifications suivant le plan de brut : Le diamètre $\varnothing 40 \pm 0.4$ La longueur $L_{\min} = 170\text{mm}$ | Atelier contrôle | appareillages |  |
| 20 | 201 | <u>Montage en air :</u> a- Dressage en finition de la surface 1. b- Centrage de 1. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à dresser. - outil à centrer. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |
| | 202 | <u>Montage mixte :</u> c- chariotage en finition de la surface 6 au $\varnothing 35$, sur une longueur de 170mm. D- ébauche de la surface 4 au $\varnothing 32.25 \pm 0.2$, sur une longueur égale à 35.5mm. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à dresser. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |

| | | | |
|---|------------------------------------|---|--|
| <p>203</p> <p>TOURNER LA PIECE <u>Montage en air :</u></p> <p>e- Dressage en finition de la surface 12. Pour une longueur égale à 161±0.1</p> <p>f- Centrage de 12.</p> <p>g- ébauche de la surface 8 au Ø32.25±0.2, sur une longueur égale à 39mm</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à dresser. - outil à centrer. - Outil à chariotier. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. | |
| <p>204</p> <p><u>Montage en pointes :</u></p> <p>h- demi-finition de la surface 8 au Ø30.45±0.1, sur une longueur égale à 40mm</p> <p>i- finir la surface 8 au Ø30.112±0.05</p> <p>j- finir la surface 10 au Ø29.8±0.01, sur une longueur égale à 25.5mm</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Palmer. - Bague Ø30. - Des calibres. | |
| <p>205</p> <p><u>Montage en pointes :</u></p> <p>k- faire les deux gorges 7 et 9 [1.5×1.5] ;</p> <p>l- le chanfrein 19 [1×45°]</p> <p>m- le filetage de la surface 10 [M30×1.5]</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage droit. - Outil à gorgeage. - Outil à fileter. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. - Bague filetée à M30×1.5. | |
| <p>206</p> <p>TOURNER LA PIECE <u>Montage en pointes :</u></p> <p>n- demi-finition de la surface 4 au Ø30.45±0.1, sur une longueur égale à 36mm</p> <p>o- finir la surface 4 au Ø30.112±0.05</p> <p>p- finir la surface 2 au Ø29.8±0.01, sur une longueur égale à 21.5mm .</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Palmer. - Bague Ø30. - Des calibres. | |

| | | | | |
|-------------------|--|------------------------------------|---|--|
| <p>207</p> | <p><u>Montage en pointes :</u> Q- faire les deux gorges 3 et 5 [1.5×1.5] ; r- le chanfrein 11 [1×45°] s- le filetage de la surface 2 [M30×1.5]. t- finir la surface 17 au Ø30 et sur une distance de 20mm.</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u> - Outil à chariotage droit. - Outil à gorgeage. - Outil à fileter. - Outil pelle. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. - Bague filetée à M30×1.5.</p> |  |
| <p>208</p> | <p><u>Montage en mors doux :</u> u- perçage de part en part au Ø6. v- ébauche de 15 au Ø6.40±.4 . w-demi-finition de 15 au Ø11.2 ±0.2. x- finition de 15 au diamètre 11.8 ±0.02. y- aléser 15 au diamètre 12.</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u> - forets au Ø6, Ø11, Ø11.8 . - foret aléreur Ø12. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. - Tampon.</p> |  |
| <p>209</p> | <p>TOURNER LA PIECE <u>Montage en mors doux :</u> u- perçage de 14 au Ø14. INCLINER LE CHARIOT PORTE OUTIL DE 8°. v- ébaucher 13 au Ø14.9±0.2. w- demi-finition de 13 au Ø19.1±0.1. x- finir 13 au Ø20±0.05.</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u> - foret Ø14. - outil à aléser. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse</p> |  |
| <p>30</p> | <p>301 Mortaisage de la surface 16 (rainure) à une cote 4×4, sur une distance égale à 40mm.</p> | <p>Mortaiseuse</p> | <p><u>Outils :</u> - outil à mortaiser. <u>Contrôle :</u> - calibre</p> |  |

| | | | | | |
|--|-----|---|--------------------------|--|--|
| 40 | 401 | Surfaçage et le dressage du méplat 18 sur une largeur 20mm. | Fraiseuse | <u>Outils :</u> - Fraise à 3 tailles. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |
| Traitement thermique : - trempe à huile à 880° pendant 1h. - Revenu à 550° pendant 1h. | | | | | |
| 50 | 501 | <u>Montage en pointes :</u> - Rectifier 4 et 8 à Ø 30m6. - Rectifier 5 et 7 à 84±0.1. | Rectifieuse | <u>Outils :</u> - Meule cylindrique. <u>Contrôle :</u> - Bague. - Pied à coulisse. |  |
| 60 | | <u>Contrôle finale :</u> A -Dimensionnelle. B -Géométrique. C -Etat de surface. | Poste de contrôle | | |

IV.2.8 Calcul des paramètres

Le tableau ci-dessous regroupe les calculs des paramètres de coupe De la porte pince (pour mieux comprendre les désignations des surface, voir la gamme d'usinage associée) avec des outils ARS:

| Operations | D | A | Vth | N | Vc | f | Vf |
|--------------------------|------|------|------|-----|--------|--------|------|
| Dressage de 1 (F) | 40 | 2.5 | 20 | 160 | 20.1 | 0.1 | 16 |
| Dressage de 12 (F) | 35 | 2.5 | 20 | 160 | 17.59 | 0.1 | 16 |
| Chariotage de 6 (F) | 40 | 2.5 | 20 | 160 | 20.1 | 0.2 | 16 |
| Chariotage 17 (F) | 35 | 2.5 | 20 | 160 | 17.59 | 0.2 | 16 |
| Chariotage de 4 et 8 | E | 35 | 2 | 20 | 17.59 | 0.2 | 32 |
| | F/2 | 32.5 | 0.2 | 25 | 25.52 | 0.08 | 20 |
| | F | 30.5 | 0.1 | 28 | 28.745 | 0.05 | 13 |
| | rec | 30.1 | 0.05 | 30 | 47.28 | 0.02 | 8 |
| Chariotage de 2 et 10(F) | 30.1 | 0.3 | 20 | 160 | 15.13 | 0.1 | 16 |
| Filetage de 2 et 10 | 29.8 | 0.2 | 25 | 125 | 11.702 | 0.08 | 10 |
| Chamfreinage de 11 et 19 | 30 | 2 | 20 | 200 | 18.849 | 0.08 | 16 |
| Gorges 3, 5, 7et 9 (F) | 30 | 2 | 20 | 200 | 18.849 | 0.08 | 16 |
| Perçage 14 | 6 | 4 | 20 | 500 | 9.425 | 0.2 | 30 |
| Perçage 15 | E | 6 | 2 | 20 | 4.712 | 0.2 | 30 |
| | F/2 | 10 | 0.8 | 25 | 9.425 | 0.08 | 20 |
| | F | 11.6 | 0.2 | 28 | 500 | 18.221 | 0.05 |
| Alésage du | E | 10 | 4 | 20 | 5.026 | 0.2 | 30 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|------|------|----|-----|--------|------|----|
| cône | F/2 | 18 | 0.6 | 25 | 250 | 14.137 | 0.08 | 20 |
| | F | 19.1 | 0.45 | 28 | 300 | 18.001 | 0.05 | 13 |
| Dressage du méplat 18 | | 30 | 2.5 | 15 | 100 | 9.425 | 0.4 | 16 |

Tableau IV.7: Calcul des paramètres de coupe pour la porte pince (outil ARS)

| Operations | a | f | K _S | F _c | F _p | F _a | N _c × 10 ³ | N _a × 10 ³ | |
|--------------------------|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|
| Dressage de 1 (F) | 2.5 | 0.1 | 448559 | 112139 | 22428 | 50462 | 2254 | 807.4 | |
| Dressage de 12 (F) | 2.5 | 0.1 | 448559 | 112139 | 22428 | 50462 | 1972.5 | 807.4 | |
| Chariotage de 6 (F) | 2.5 | 0.2 | 112139 | 56069 | 16820 | 25231 | 1127 | 403.7 | |
| Chariotage 17 (F) | 2.5 | 0.2 | 112139 | 56069 | 16820 | 25231 | 986.25 | 403.7 | |
| Chariotage de 4 et 8 | E | 2 | 0.2 | 112139 | 44855 | 13456 | 20185 | 789 | 430.6 |
| | F/2 | 0.2 | 0.08 | 700874 | 11213 | 3364 | 5606 | 286.16 | 112.12 |
| | F | 0.1 | 0.05 | 1794238 | 8971.2 | 2691 | 4037 | 257.9 | 52.5 |
| | rec | 0.05 | 0.02 | 11213991 | 11214 | 4464 | 5046 | 530.2 | 40.4 |
| Chariotage de 2 et 10(F) | 0.3 | 0.1 | 448559 | 13456 | 4037 | 6055 | 203.6 | 96.9 | |
| Filetage de 2 et 10 | 0.2 | 0.08 | 700874 | 11213 | 3364 | 5046 | 131.21 | 50.5 | |
| Chamfreinage de 11 et 19 | 2 | 0.08 | 700874 | 112139 | 33641 | 50462 | 2113.7 | 807.4 | |
| Gorges 3, 5, 7 et 9 (F) | 2 | 0.08 | 700874 | 112139 | 33641 | 50462 | 2113.7 | 807.4 | |
| Perçage 14 | 4 | 0.2 | 112139 | 89711 | 26913 | 40370 | 845.5 | 1211.1 | |
| Perçage 15 | E | 2 | 0.2 | 112139 | 44855 | 13456 | 20185 | 211.35 | 605.5 |
| | F/2 | 0.8 | 0.08 | 700874 | 44855 | 13456 | 20185 | 422.75 | 403.7 |
| | F | 0.2 | 0.05 | 1794238 | 17942 | 5382 | 8074 | 327 | 105 |
| Alésage du cône | E | 4 | 0.2 | 112139 | 89711 | 26913 | 40370 | 450.89 | 1211.1 |
| | F/2 | 0.6 | 0.08 | 700874 | 33641 | 10092 | 15138 | 475.6 | 302.76 |
| | F | 0.45 | 0.05 | 1794238 | 40370 | 12111 | 18166 | 726.7 | 236.1 |
| Dressage du méplat 18 | 2.5 | 0.4 | 28035 | 28035 | 8410 | 12615 | 264.3 | 201.9 | |

Tableau IV.8: Calcul des conditions de coupe pour la porte pince

IV.2.9 Programme du porte pince

PROGRAMME PRINCIPAL

%2000

N001 G71 G54

N002 G58 Z166

N003 T1 D1 M6 (*outil à charioter et dresser*)N004 G92 S 2000 (*limitation de vitesse*)

N005 G96 S120 M03

N006 G95 F 0,1

N007 G00 X 41 Z 0 M08 (*Dressage de 1*)

N008 G01 X -1

N009 G00 X50 Z10 M09

N010 G97 S 800 M03

N011 G94 F 100

N012 G00 X 32.25 Z-1 M08 (*Chariotage de 3 E*)

N013 G01 Z-33

N014 G01 X 35

N015 G97 S 1000 (*Chariotage de 6 F*)

N016 G01 Z -170.5 F200

N017 G00 X 40 Z 100 M09 M00

N018 G96 S 125,6

N019 G95 F 0,1 (*Dressage de 12*)

N020 G00 X37 Z 0 M08

N021 G01 X-1

N022 G00 X32.25 Z 1

N023 G97 S 800 (*Chariotage de 8 E*)

N024 G94 F 160

N025 G01 Z-39

N026 G01 X 41

N027 G00 X 35 Z 20 M09

N028 T2 D2 M6

N029 G97 S900 M03 (*Chariotage de 8F/2*)

N030 G00 X 30.45 Z0.5 M08

N031 G01 Z-40 F 100

N032 G00 X 45 Z50 M08

N034 G97 S1250 M03 (*Chariotage de 8F*)

N035 G00 X 30.1 Z0.5 M08

N036 G01 Z-40 F 100

N037 G00 X 40 Z2 M08

N038 X29.8 Z0.5

N039 G01 Z-25.5

N040 G00 X100 Z100

N041 T3 D3 M6 (*Les gorges 9 et 7*)

N042 G96 S 80

N043 G95 F 0.08

N044 G00 Z -25 X 30.2 M08

N045 G01 X27

N046 G00 X30.1

N047 Z-40

N048 G01 X27

N049 G00 X40

N050 X100 Z100

N051 T1 D1 M6 (*chanfreinage 19*)

N052 G97 S 800

N053 G94 F 160
N054 G00 X28 Z1
N056 G01 X31 Z-1
N057 G00 X100 Z100
N058 T4 D4 M6 (*filetage de 10*)
N059 G97 S 700
N060 G94 F 50,4 M08
N061 G00 X 35 Z 5
N062 R20= 1.5 R21= 30 R22= 0
N063 R23= 4 R24= +0.8 R25= 0.02
N064 R26= 3 R27= 1 R28= 5
N065 R29=60 R31=29 ,8 R32= -15.5
N066 L97 P1
N067 G00 X200 Z 200 M09
N068 T2 D2 M6
N069 G97 S900 M03 (*Chariotage de 4F/2*)
N070 G00 X 30.45 Z0.5 M08
N071 G01 Z-36 F 100
N072 G00 X 45 Z50 M08
N074 G97 S1250 M03 (*Chariotage de 4F*)
N075 G00 X 30.1 Z0.5 M08
N076 G01 Z-36 F 100 (*Chariotage de 2F*)
N077 G00 X 40 Z2 M08
N078 X29.8 Z0.5
N079 G01 Z-21.5
N080 G00 X100 Z100
N081 T3 D3 M6 (*Les gorges 3 et 5*)
N082 G96 S 80
N083 G95 F 0.08
N084 G00 Z -21 X 30.2 M08
N085 G01 X27
N086 G00 X30.1
N087 Z-36
N088 G01 X27
N089 G00 X40
N090 X100 Z100
N091 T1 D1 M6 (*chanfreinage 11*)
N092 G97 S 800
N093 G94 F 160
N094 G00 X28 Z1
N096 G01 X31 Z-1
N097 G00 X100 Z100
N098 T4 D4 M6 (*filetage de 2*)
N099 G97 S 700
N100 G94 F 50,4 M08
N101 G00 X 35 Z 5
N102 R20= 1.5 R21= 30 R22= 0
N103 R23= 4 R24= +0.8 R25= 0.02
N104 R26= 3 R27= 1 R28= 5
N105 R29=60 R31=29 ,8 R32= -15.5
N106 L97 P1
N107 G00 X200 Z 200 M09
N108 T1 D1 M6 (*la surface 17F*)
N109 G97 S 800
N110 G94 F 160

N111 G00 X35.5 Z-46.5
N112 G01 X30
N113 Z66.5
N114 X36
N115 G00 X100 Z100
N124 G00 Z 200 M09
N125 T5 D5 M6
N126 G97 S 1250 M08 (*Usinage du cône E*)
N127 G00 X 18 Z 3.557
N128 G01 X 12 Z -17.78 F 100
N129 G00 Z 4 (*Le cône F/2*)
N130 G97 S 1600
N131 G00 X 20.6 Z 3.557
N132 G01 X 12 Z -27.037 F 80
N133 G00 Z 200 M09
N134 G00 X 200
N135 T5 D5 M6
N136 G97 S 1250 (*Alésage de 17E*)
N137 G94 F 100
N138 G00 X 16 Z 2 M08
N139 G01 Z -53
N140 G01 X 12
N141 G00 Z4
N142 G00 X 17.6
N143 G97 S 1600 (*Alésage de 17F/2*)
N144 G94 F 80
N145 G01 Z -53
N146 G01 X 12
N147 G00 Z 200 M09
N148 G00 X 200
N149 M02

Remarque :

Le même travail à été effectué avec les deux autre pièces (écrou et porte pince gauche), les gammes d'usinage de ces deux pièce et la simulation d'usinage sont présentées dans l'annexe.

CHAPITRE V

Etude expérimentale

Introduction

Le but de la présente étude étant la validation de notre nouveau système. Notre choix de l'essai de fatigue s'est porté sur des essais utilisant des éprouvettes normalisées. Nous avons utilisé des éprouvettes entaillées. De cette manière, il nous est possible de juger si les résultats sont satisfaisants ou pas.

V.1 Machine d'essai de fatigue utilisée

Pour l'étude expérimentale que nous présentons ici, nous avons utilisé une machine de flexion rotative « SCHENCK » qui était en panne et qui était entreposée au laboratoire de métallurgie du département de génie mécanique.

V.2 Description de la machine

La machine de la fatigue R. R. Moore à poutre rotative. L'éprouvette est fixée rapidement aux extrémités de deux arbres et devient d'une longue poutre, qui est chargée en flexion simple. La poutre est supportée et chargée par l'intermédiaire de roulements à billes, sur des prolongements de l'arbre, de sorte qu'elle peut tourner librement autour de son axe. La sollicitation se fait au moyen de poids morts, de sorte que la flexion a lieu dans un plan vertical. Lorsque l'éprouvette tourne, les fibres les plus hautes sont toujours en compression et les fibres les plus basses en traction, ce qui produit une variation sinusoïdale des contraintes, en chaque point de la surface de l'éprouvette; on fait tourner l'éprouvette à une vitesse de rotation 2760 tr/min, à l'aide d'un moteur directement relié à l'un des prolongements de l'arbre. Un compteur enregistre le nombre de tours (cycle de contrainte) et un interrupteur est prévu, pour arrêter automatiquement la machine quand l'éprouvette se rompe.

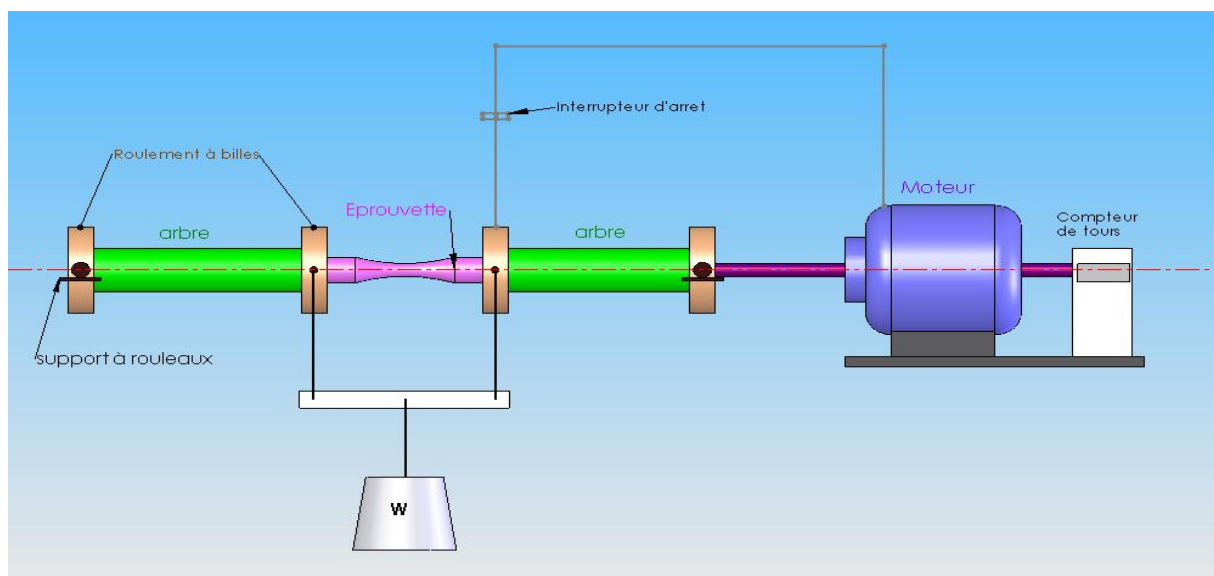


Figure V.1 : Principe de fonctionnement de la machine.

V.3 Mode de sollicitation de l'éprouvette

La sollicitation sur la machine de flexion rotative « SCHENCK » est modélisée par une flexion à quatre points d'une poutre, voir figure V.1. De cette manière, l'éprouvette est soumise à un moment fléchissant constant.

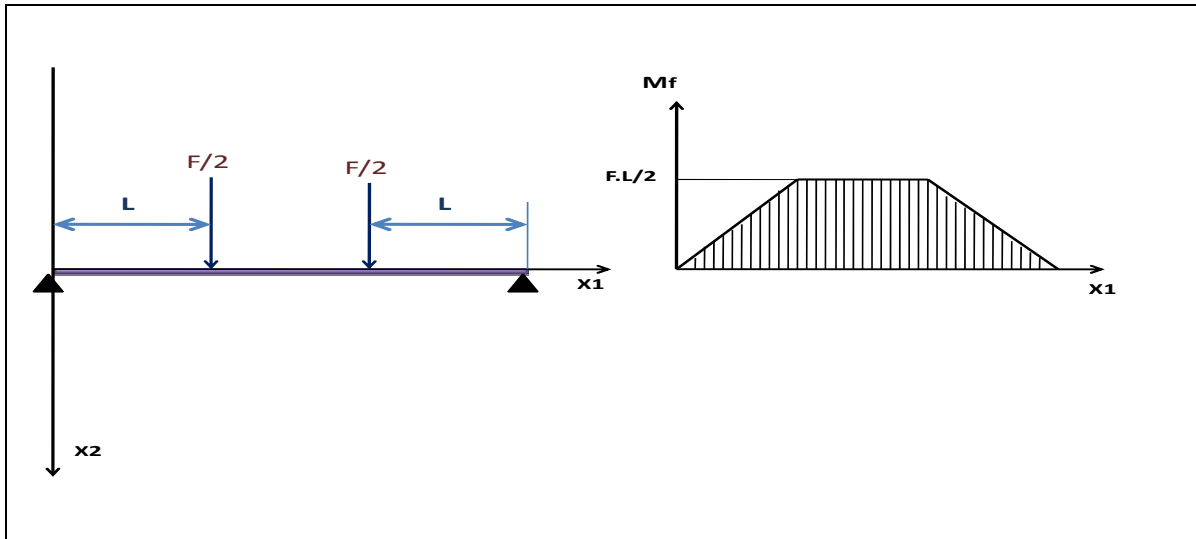


Figure V.2 : Sollicitation de l'éprouvette.

La machine R. R. Moore est de type à *sollicitation constante*, puisque les sollicitations sont exercées par des poids morts. On les classe également comme étant à *sollicitation mécanique* et non hydraulique ou électrique.

Lorsque l'éprouvette est mise en rotation, en un point de la section droite de l'éprouvette, la contrainte de traction obtenue par la flexion est alternée pure. Dans ce cas, la contrainte moyenne $\sigma_m=0$ et le rapport de contrainte $R_S=-1$.

V.4 Type d'éprouvettes utilisées

Le matériau utilisé dans cette étude est l'acier de construction C35 (XC38).

Cette nuance d'acier correspond à un acier mi - doux, dont la composition chimique est résumée sur le tableau (V-1). Elle a été établie au sein du Laboratoire de corrosion de l'Institut Algérien du Pétrole « I.A.P » de Boumerdes.

| C% | Si% | Mn% | Ni% | Cr% | P% | S% | Mo% | Cu% | Fe% |
|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|---------|
| 0.36 | 0.27 | 0.66 | 0.02 | 0.21 | 0.015 | 0.02 | 0.02 | 0.22 | balance |

Tableau V.1 : Composition chimique de l'acier C35.

| Résistance à la rupture R_r (MPa) | Limite élastique R_e (MPa) | Allongement A% | La dureté H_v |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|
| 716.5 | 477.7 | 36.5 | 170 -195 |

Tableau V.2 : Caractéristiques mécaniques de l'acier C35.

L'éprouvette est de forme cylindrique avec un diamètre \varnothing 10 mm pour la partie utile. Ce diamètre sera diminué à \varnothing 8 avec une entaille de 1mm de profondeur, un angle de 60° et un rayon « r » en fond d'entaille égale à 0.4mm, voir détail figure suivante :

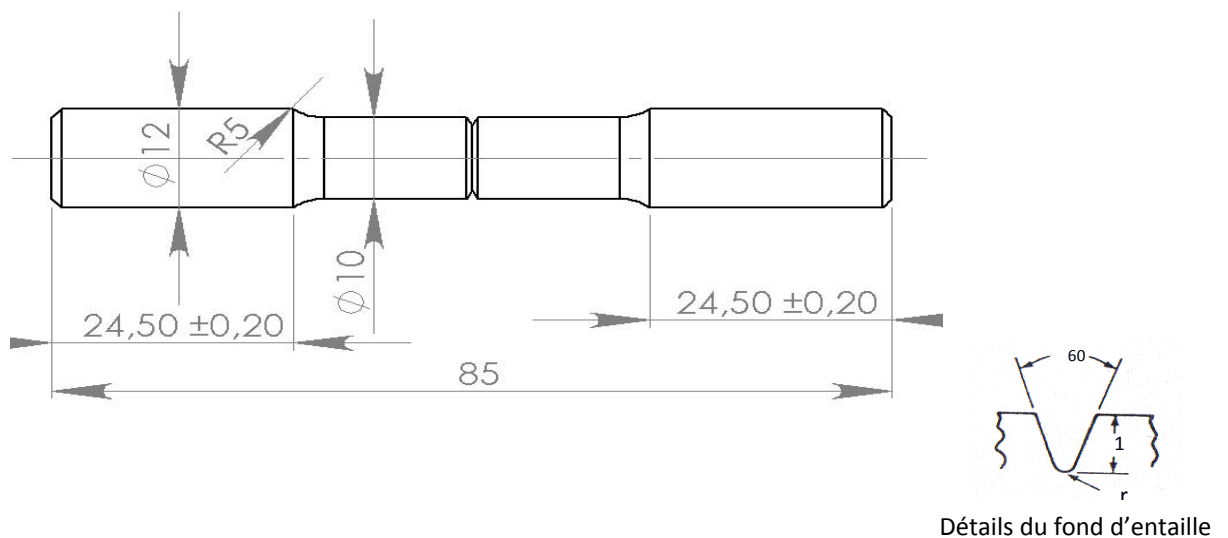


Figure V.3 : Dimensions de l'éprouvette.

V.5 Protocole des essais réalisés

Pour mener les essais sur les éprouvettes, nous avons opté pour la méthode classique qui consiste à choisir plusieurs niveaux de contraintes et à essayer, à chaque niveau, une ou deux éprouvettes. Car on a jugé que c'est suffisant vu le nombre d'éprouvette disponibles et la difficulté de choisir les niveaux de contraintes. Nous avons préféré cette méthode aux deux méthodes des probits et d'essai en escalier car ces dernières se limitent à déterminer la limite d'endurance pour un nombre de cycle jusqu'à rupture fixé. En effet, il nous était impossible d'estimer, à priori, les résultats qui seraient obtenus par les essais. Quand au pas entre les niveaux de contrainte il a été pris égal à 16.58 (MPa). Il correspond à un pas de 20 mm sur la machine. Nous faisons une remarque importante à ce niveau concernant les essais : en effet, nous avons utilisé une dizaine d'éprouvettes qui correspond à différents niveaux de contrainte. D'autre part nous avons limité le nombre de cycles à un maximum de 10^6 , ce qui correspondrait à la partie linéaire de la courbe de WOHLER.

V.6 Résultats des essais

En premier lieu, nous faisons quelques commentaires sur l'aspect des faciès de rupture.

La rupture est survenue suivant une surface pratiquement plane correspondant au diamètre minimal en fond d'entaille. En observant la surface de rupture, nous distinguons deux zones différentes d'aspect : la première claire entourant la deuxième d'apparence plus sombre. La première surface, qui est légèrement rugueuse, correspond à la zone d'élaboration du processus de fatigue : une fissure est initiée sur la circonférence en fond d'entaille et se propage ensuite vers l'intérieur de la section jusqu'à la deuxième zone qui est plus rugueuse. Cette zone est une zone critique où la fissure se propage à une très grande vitesse, d'où la rupture brutale de l'éprouvette. De ce fait la première est dite « zone de fatigue ». La deuxième est dite « zone de rupture brutale ».

Nous avons remarqué pour de faibles charges que la zone de rupture fragile n'est plus centrée dans la section, mais elle est décalée vers la circonférence. Nous pouvons expliquer cela par le fait qu'à faible charge, la probabilité d'apparition d'une fissure sur toute la circonférence provoquera l'apparition d'une fissure qui se propagera suivant des arcs concentriques jusqu'à atteindre la zone critique de rupture brutale.

Nous présentons les résultats des essais dans le tableau suivant :

| Numéro d'essai | Contrainte σ [MPa] | Nombre de cycles jusqu'à rupture |
|----------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1 | 149 | Dépasse 10^6 |
| 2 | 166 | 625400 |
| 3 | 224 | Dépasse 10^6 |
| 4 | 232 | Dépasse 10^6 |
| 5 | | 77500 |
| 6 | 240 | Dépasse 10^6 |
| 7 | 450 | 747900 |
| 8 | 520 | 63300 |

Tableau V.3 : résultats d'essais préliminaires

L'observation de ces valeurs montre clairement une dispersion des résultats des essais. Cette dispersion est très nette entre le premier et le deuxième niveau de contrainte. Cela nous amène à dire que cette dispersion des résultats est due à :

- La qualité de l'usinage des éprouvettes.
- Les dimensions en fond d'entaille

Des essais complémentaires avec des éprouvettes de meilleures qualités en termes d'usinage pour estimer la plage de fatigue limitée. Les résultats ci-dessus restent cohérents.

Pour tester les nouveaux organes de la machine conçus et réalisés dans le cadre de cette étude (porte pince, pince et accouplement), nous avons procédé à des tests avec conditions extrêmes en chargement montrés dans le tableau suivant:

| Numéro d'essai | Contrainte σ [MPa] | Nombre de cycles jusqu'à rupture |
|----------------|---------------------------|----------------------------------|
| 9 | 829 | 2000 |
| 10 | 870 | 7500 |
| 11 | | Rupture brutale |
| 12 | 995 | Rupture brutale |

Tableau V.4 : résultats d'essais avec chargement extrême

On a constaté un bon comportement de l'ensemble des pièces:

- Pas d'échauffement des roulements;
- Un bon serrage des queues des éprouvettes ;
- Bon comportement de l'accouplement bout d'arbre moteur- porte pince
- Pas de glissement des pinces.

V.7 Conclusion

Les résultats obtenus avec le nouveau système de fixation sont très satisfaisants et valident le bon fonctionnement de la machine.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Concevoir et réaliser des organes de machine fiables sont en permanence les grands soucis de l'ingénieur.

La machine de fatigue en flexion rotative du département génie mécanique, exploitée durant de très longues années, a été diagnostiquée dans le but de la remettre en état de marche.

Après le diagnostic réalisé, nous avons décidé qu'il est nécessaire de refaire les pinces, les portes pinces, les roulements et l'accouplement qui a présenté par le passé le plus de problèmes.

Pour la conception de ces pièces, nous avons utilisé Solidworks comme outil d'aide à la conception. Les pièces ainsi conçues sont facilement exploitables en réalisation.

Les différents éléments que nous proposons sont conçus dans les soucis d'avoir des pièces facilement réalisables ou disponibles sur le marché, cas des roulements et des pinces de serrage.

Le montage ainsi réalisé a été testé à plusieurs niveaux de chargement. Pour cela des éprouvettes entaillées ont été utilisées. Le choix de ce type d'éprouvettes est motivé par le fait que la majorité des organes présentent des géométries similaires entraînant des ruptures prématurées.

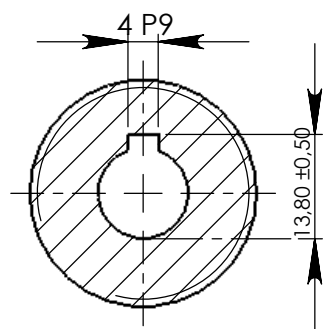
Les niveaux modérés de chargement appliqués sur des millions de cycle ont montré que le montage répond aux exigences techniques.

Des chargements très sévères mais transitoires ont été appliqués intentionnellement dans le but de valider le montage.

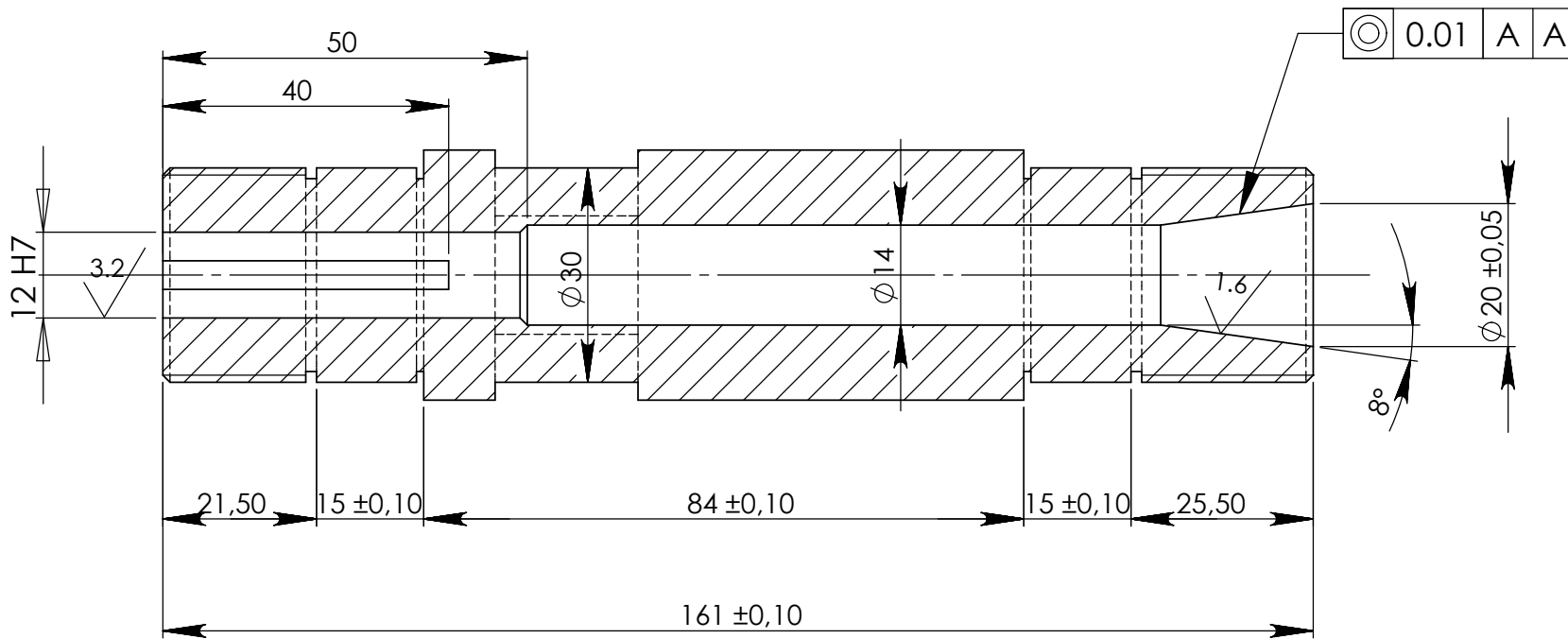
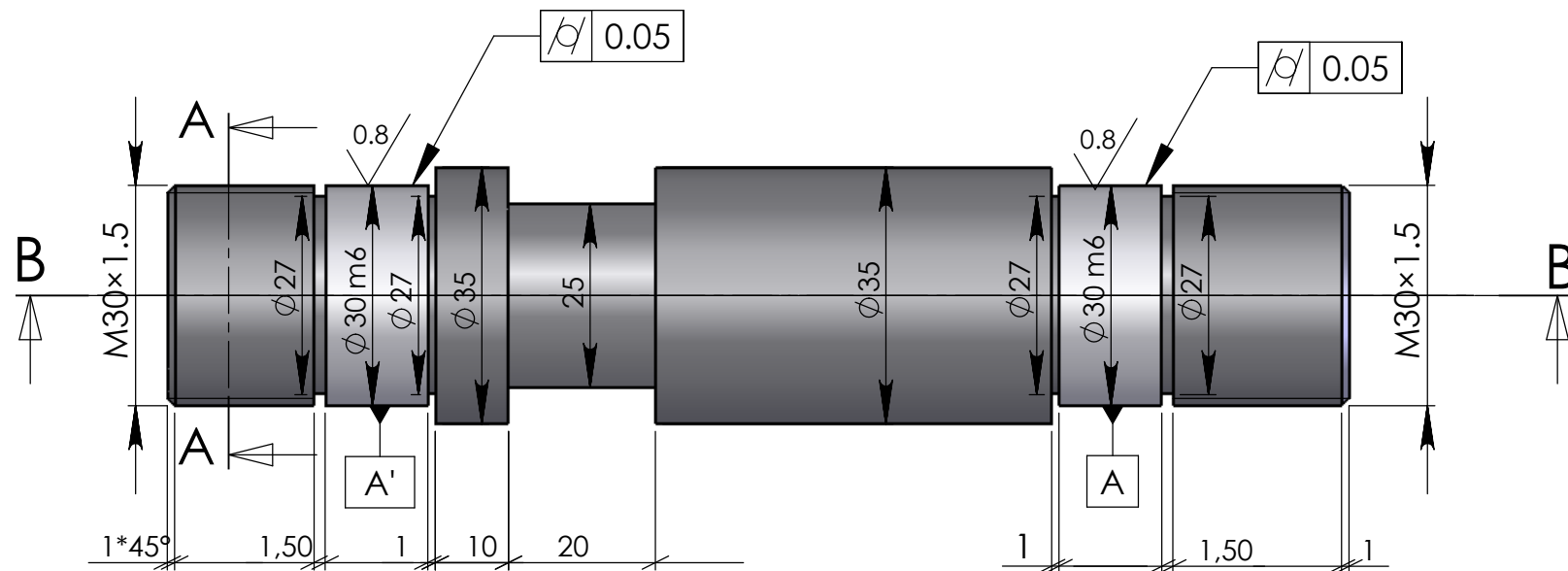
Au vu du comportement de la machine, nous pensons que les essais de fatigue à effectuer sur la machine seront fiables.

En recommandation, pour les futurs utilisateurs de cette machine, nous préconisons de faire des tests d'étalonnage complémentaire avant d'entamer des essais de fatigue.

ANNEXE I



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

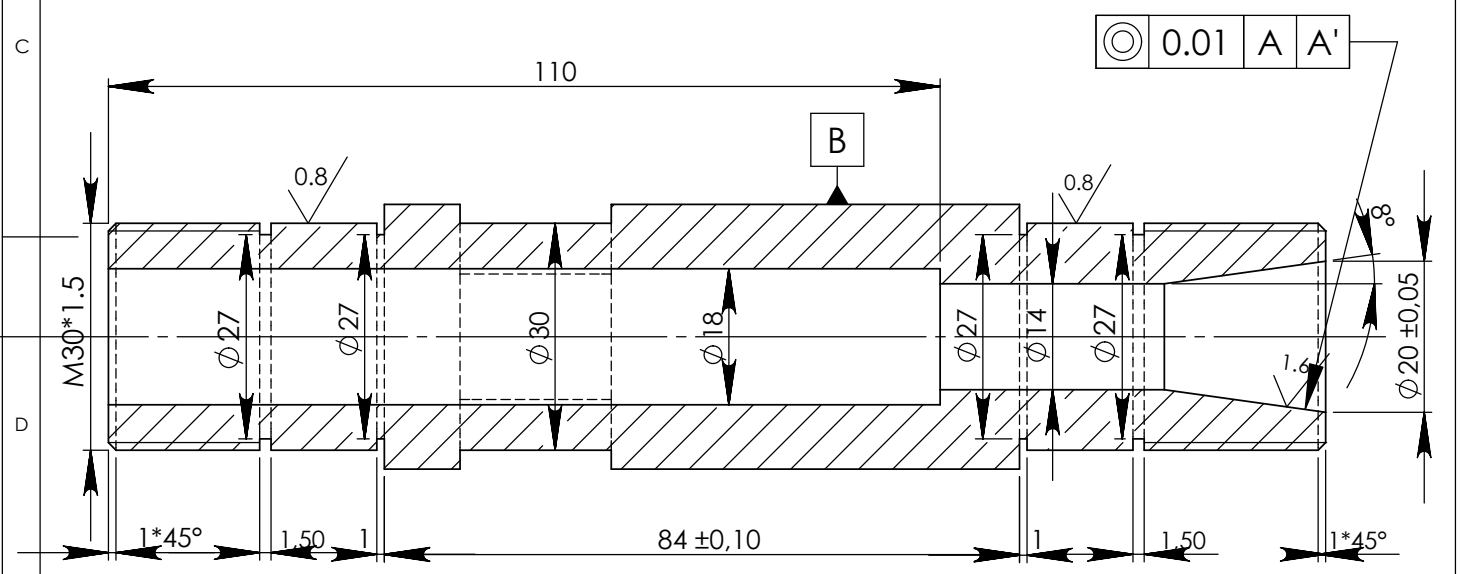
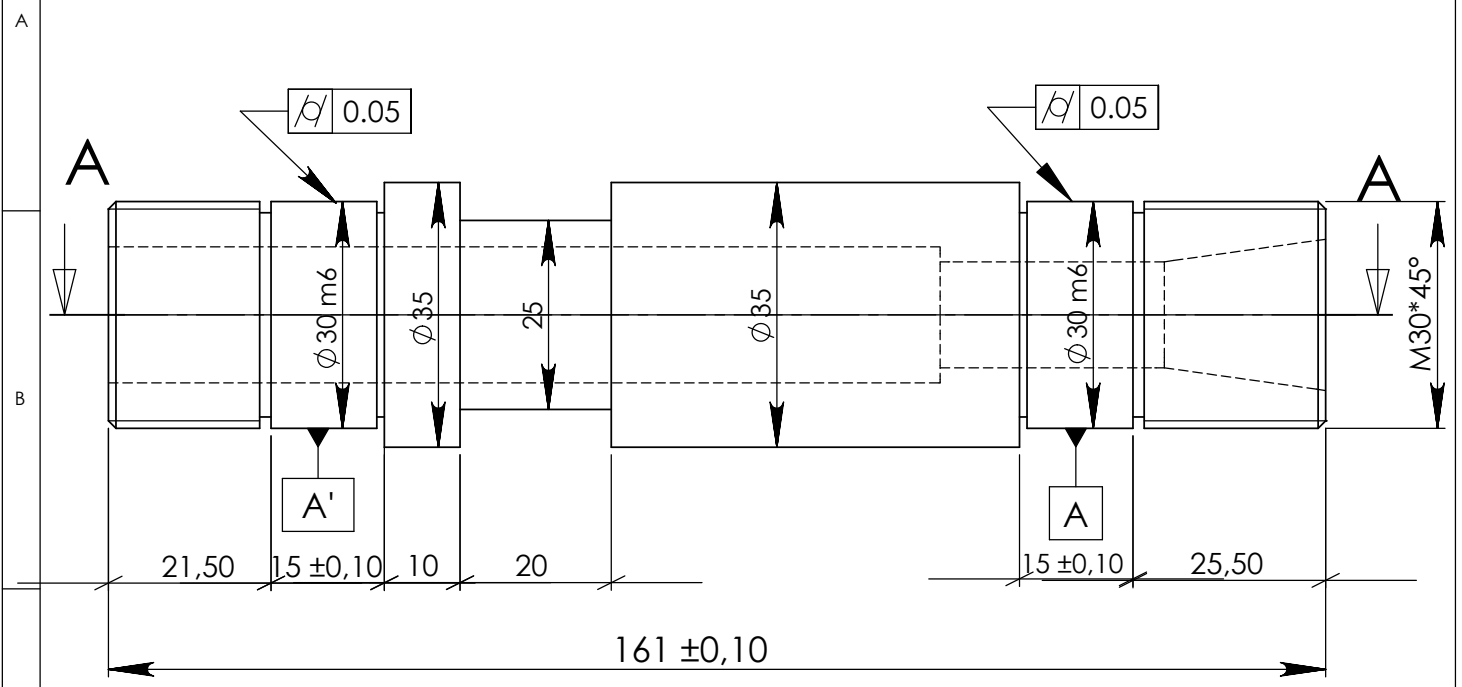


COUPE B-B
ECHELLE 1 : 1

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

| | | | | |
|-----------|-----------|--|--------------------|-------------------------------|
| Echelle | Masse | | porte pince | ENP Dép.G.MEACNIQUE |
| 1/1 | | | | |
| Etudiante | Saïfi | | | |
| Promoteur | Guergueb | | | |
| Promoteur | Belkacemi | | | |
| Chef.dépt | Bouaziz | | | |
| Prés.jury | | | | machine d'essai: 01.01 |

1 2 3 4



COUPE A-A

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

| | | |
|-----------|-----------|--|
| Echelle | Masse | |
| 2/1 | | |
| Etudiante | Saifi | |
| Promoteur | Guergueb | |
| Promoteur | Belkacemi | |
| Chef.dépt | Bouaziz | |
| Prés.jury | | |

porte pince n°2

35 NCD 16

ENP

Dép.G.MEACANIQUE

machine d'essai: 01.02

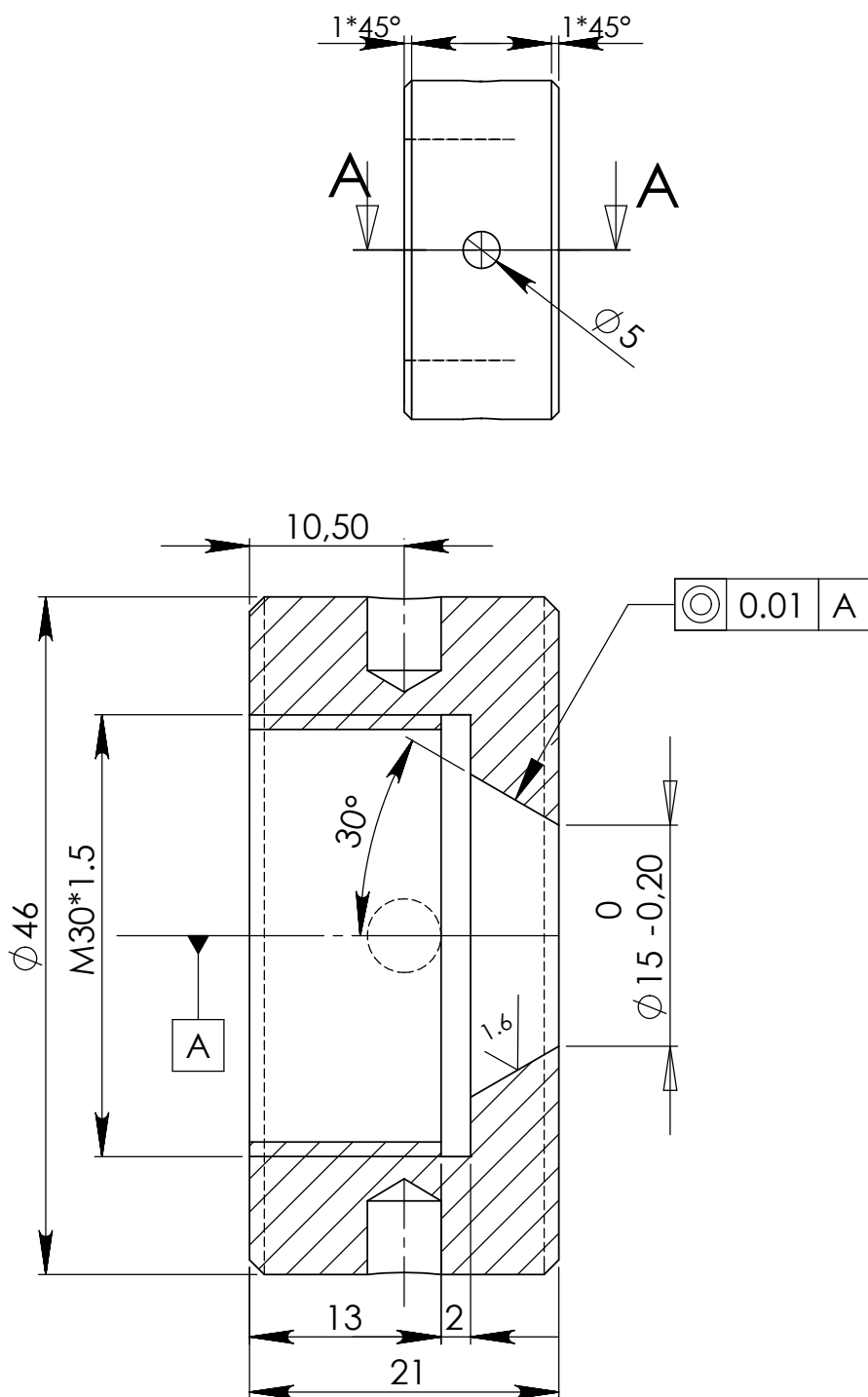
A

B

C

D

E



COUPE A-A
ECHELLE 2:1

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

| | | | | |
|-----------|-----------|--|-----------------------------|--------------------------------|
| Echelle | Masse | | ECROU DE SERRAGE | ENP Dép.G.MEACANIQUE |
| 2/1 | | | | |
| Etudiante | Saifi | | | |
| Promoteur | Guergueb | | | |
| Promoteur | Belkacemi | | | |
| Chef.dépt | Bouaziz | | | |
| Prés.jury | | | acier alliés au Cr+Mo 25CD4 | machine d'essai: 01.03 |

1

2

3

4

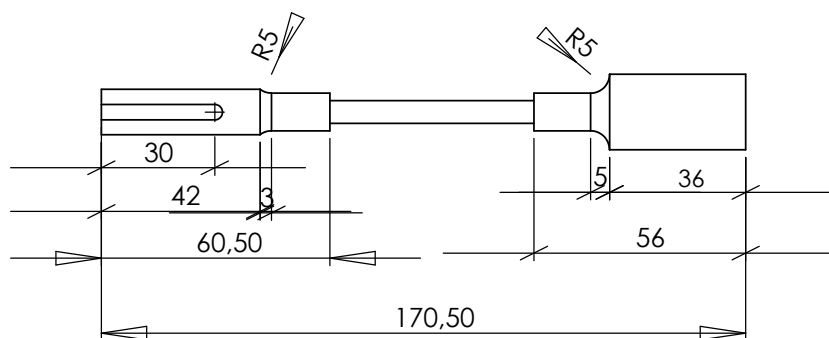
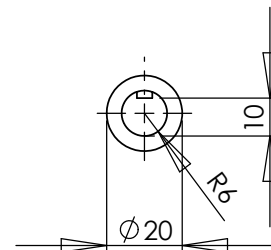
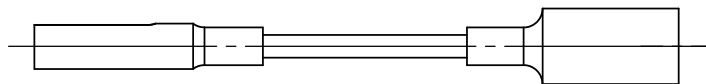
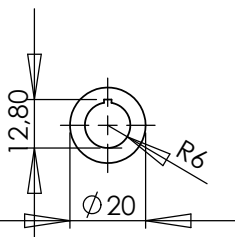
A

B

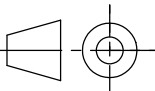
C

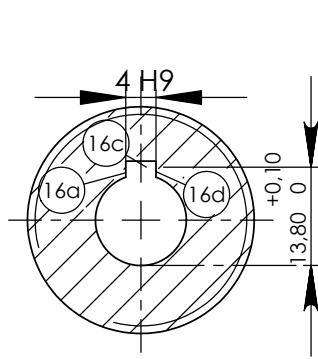
D

E

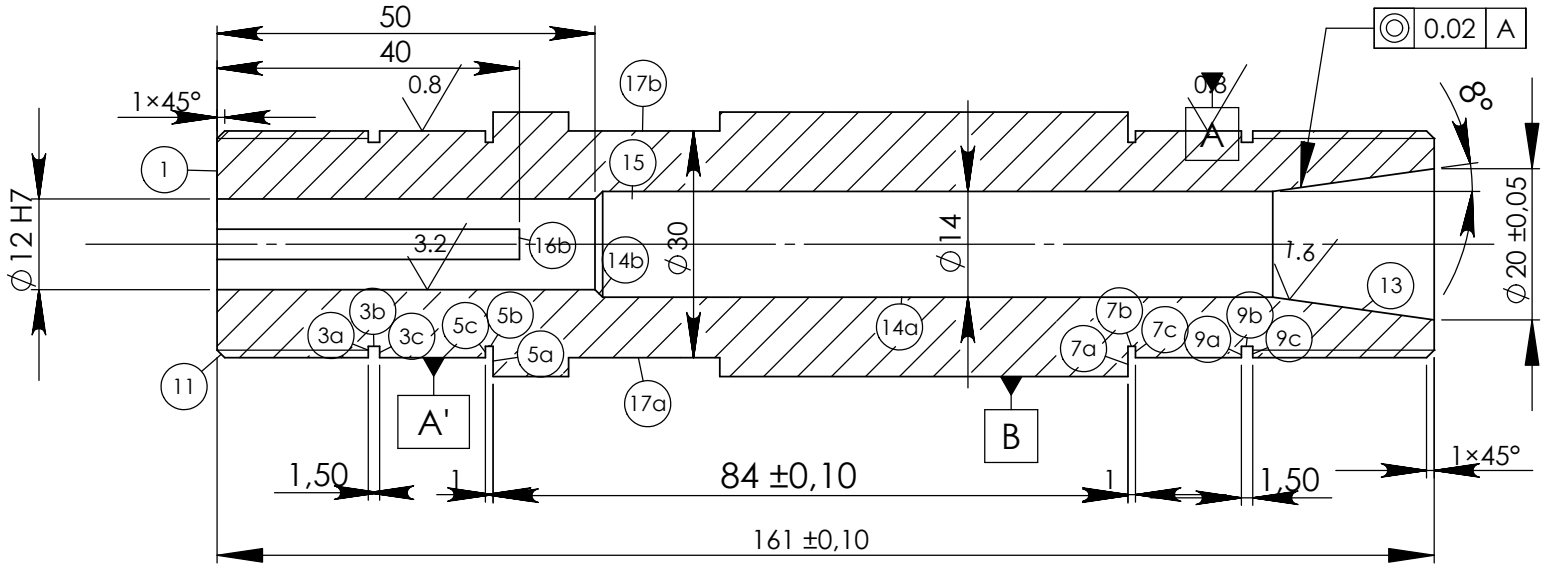
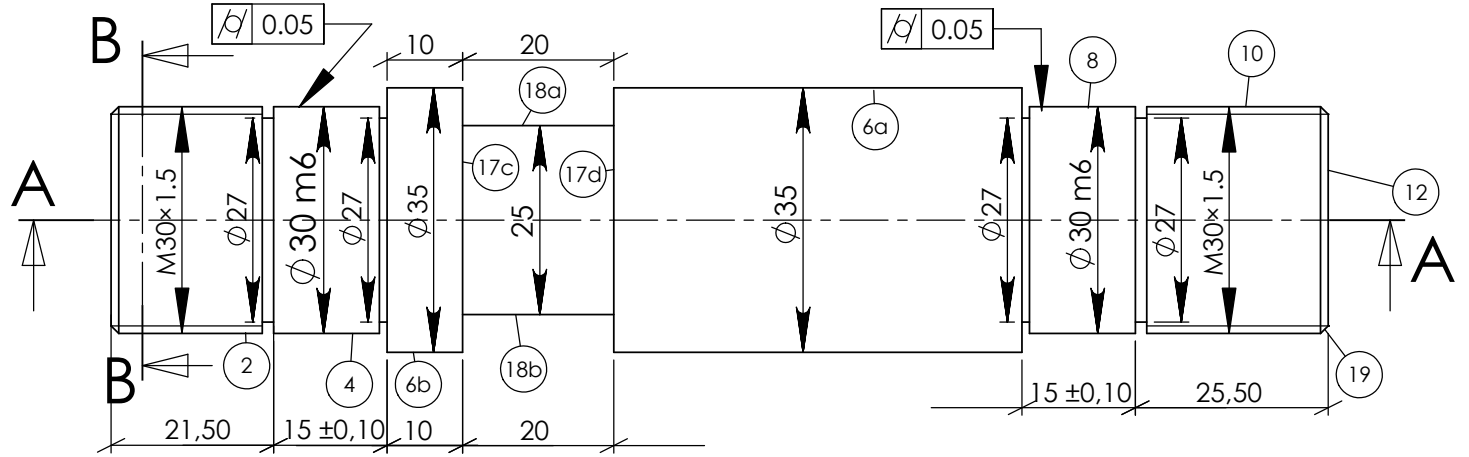


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

| | | | | |
|-----------|-----------|---|---------------------|--------------------------------|
| Echelle | Masse |  | Accouplement | ENP Dép.G.MEACANIQUE |
| 1/2 | | | | |
| Etudiante | Saifi | | | |
| Promoteur | Guergueb | | | |
| Promoteur | Belkacemi | | | |
| Chef.dépt | Bouaziz | | | |
| Prés.jury | | | | machine d'essai: 01.04 |



COUPE B-B
ECHELLE 1 : 1



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

porte pince n°1

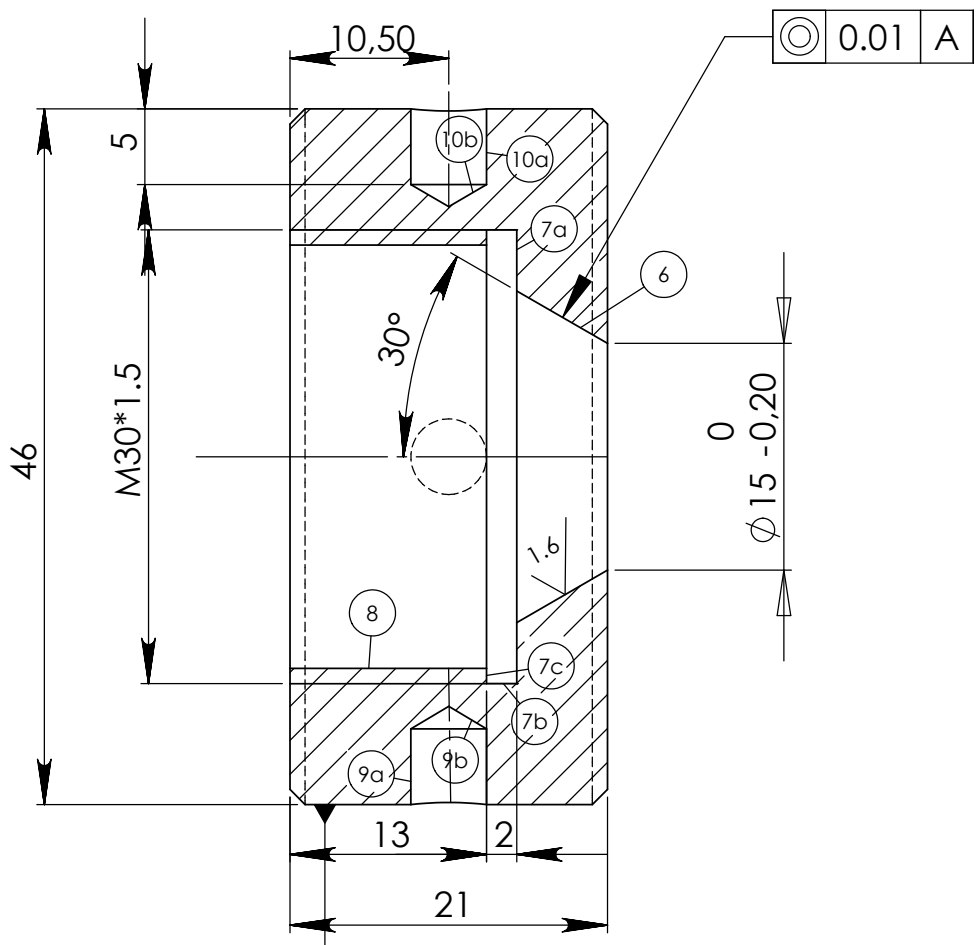
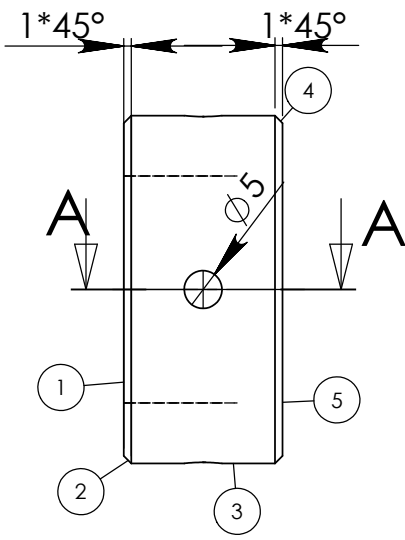
A

B

C

D

E



A COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1

ECROU DE SERRAGE

1

2

3

4

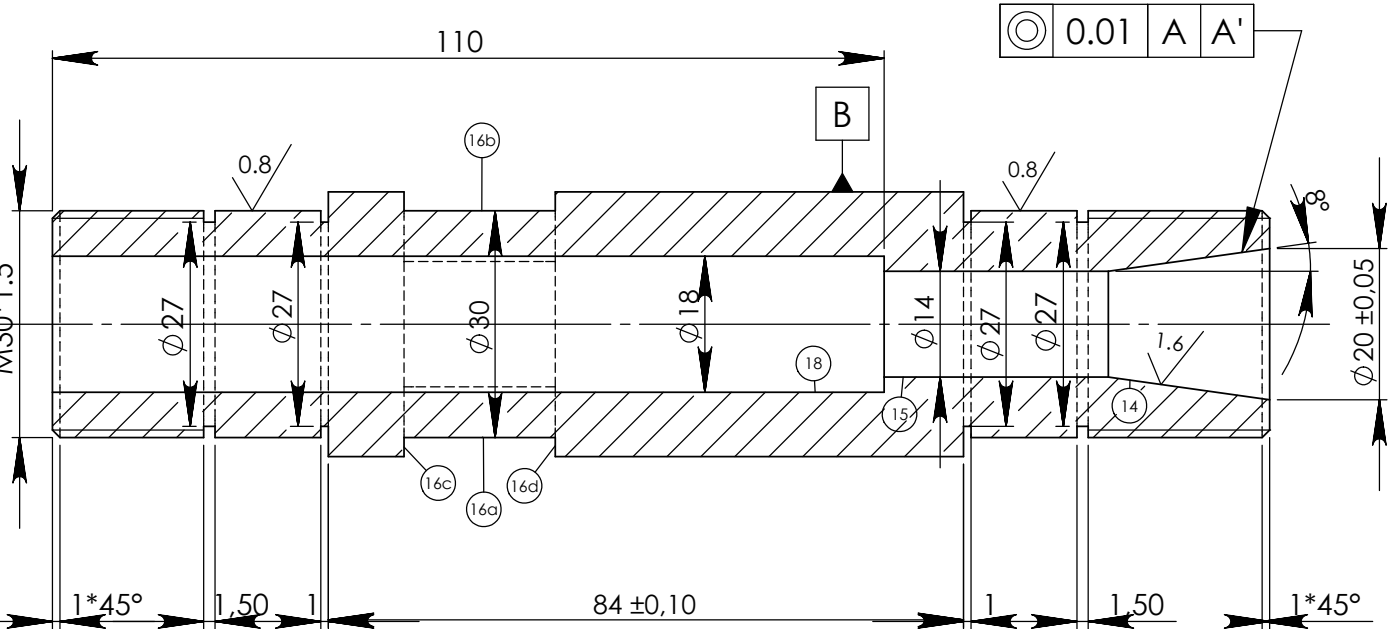
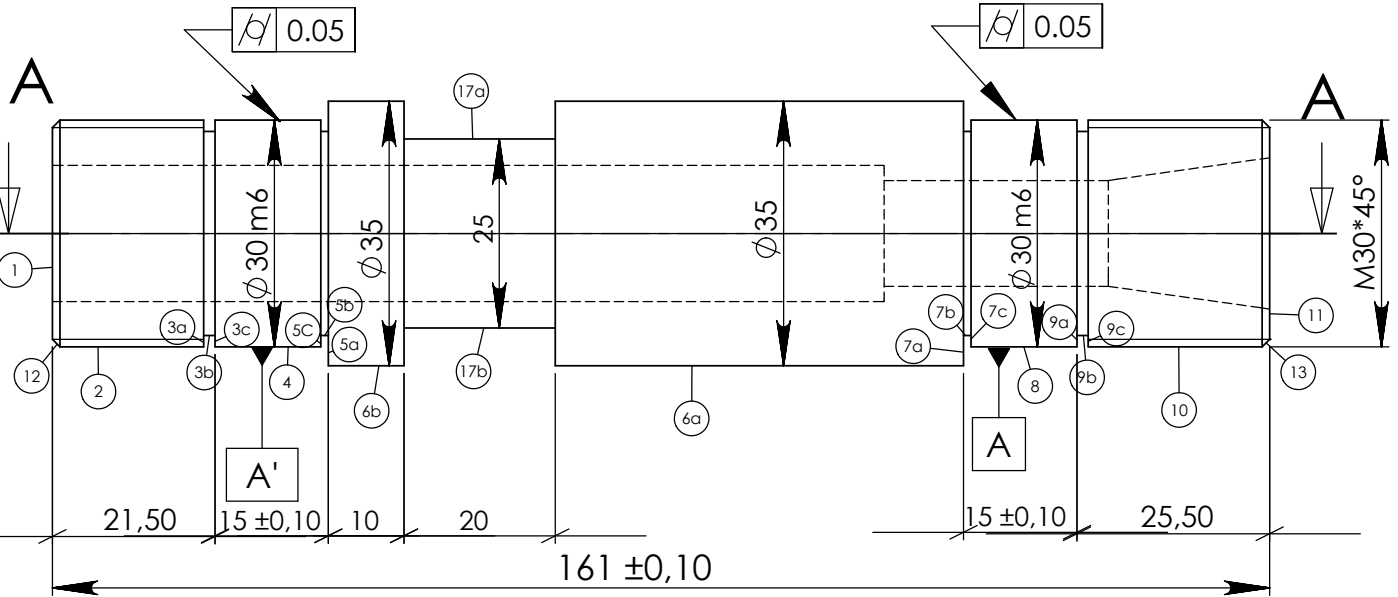
A

B

C

D

E



COUPE A-A

porte pince n°2

ANNEXE II

II.1 gamme d'usinage de la deuxième porte pince :

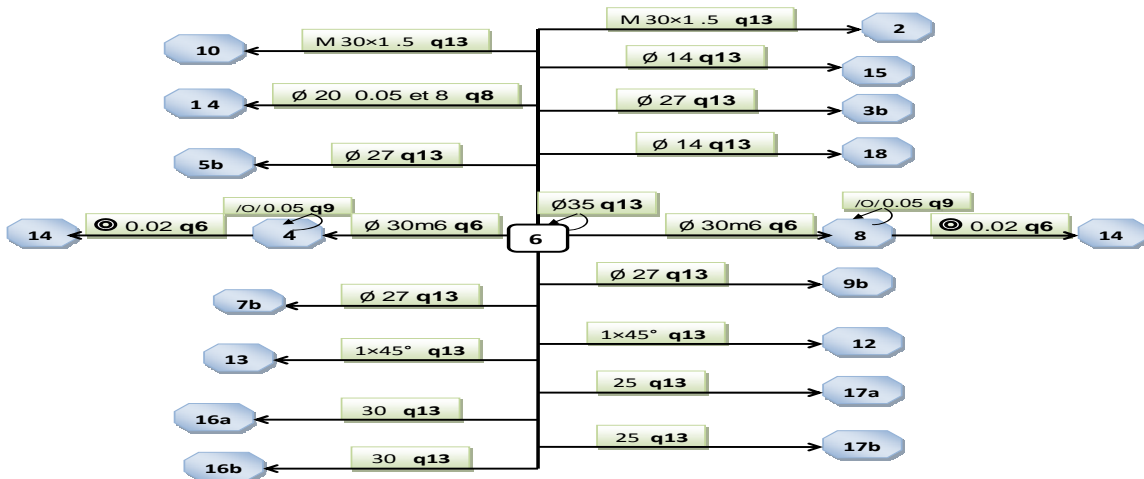
1. Inventaire des surfaces :

Les chiffres de 1..18 désignent les surfaces usinées.

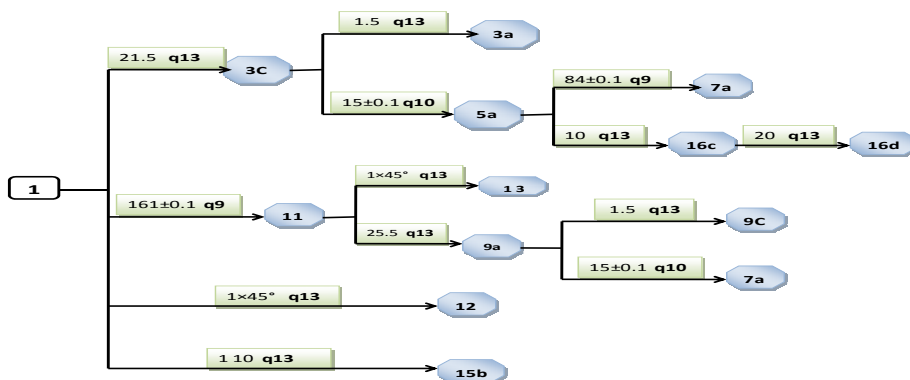
2. Les graphes des liaisons :

2.1- contraintes dimensionnelles et géométriques :

a) Selon OX :



b) Selon OZ :



2.2- contraintes technologiques :

Pour éviter le travail en choc ou les discontinuités :

- 6 avant 16 et 17.
- 16 avant 17.

Pour l'amorçage de l'attaque du filetage :

- 12 avant 2 fileté.
- 13 avant 10 fileté.

Pour les contraintes de bavures :

- 2 et 4 avant 3 et 5.
- 8 et 10 avant 9 et 7.
- 1 et 2 avant 12.
- 10 et 11 avant 13
- Perçage de petit diamètre avant le grand : 15 avant 18.

2.3- contraintes économiques :

- Pour protéger l'outil : 15 avant 14
- Moindre usinage : 6 avant le 4, 2, 8 et 10

3. Tableau des opérations élémentaires :

| SURFACE | Cotes de liaisons aux surfaces | | Spécifications | | | Opérations élémentaires | |
|---------|--------------------------------|-------|----------------|---------|---|-------------------------|---------------|
| | Usinée | Brute | Ra | Qualité | R | opérations | symbolisation |
| 1 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 2 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F+ (filetage) | |
| 3a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 3b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 3c | * | | 6.3 | 10 | 1 | F | |
| 4 | * | | 0.8 | 6 | 1 | E+F/2+F+ (rect) | |
| 5a | * | | 6.3 | 9 | 1 | F+ (rect) | |
| 5b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 5c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 6a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 6b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7a | * | | 6.3 | 9 | 1 | F+ (rect) | |
| 7b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 8 | * | | 0.8 | 6 | 1 | E+F/2+F+ (rect) | |
| 9a | * | | 6.3 | 10 | 1 | F | |
| 9b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 9c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 10 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F+ (filetage) | |
| 11 | * | | 6.3 | 9 | 1 | F | |
| 12 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 13 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 14 | * | | 1.6 | 6 | 1 | F+F/2+F | |
| 15a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 15b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 16a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 16b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 16c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 16d | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 17a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 17b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 18 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |

4. Tableau de regroupement de surfaces :

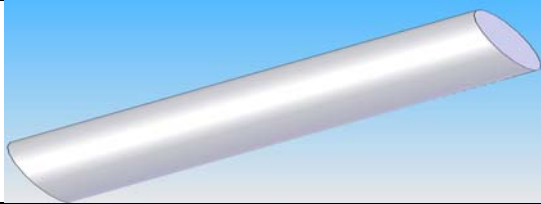
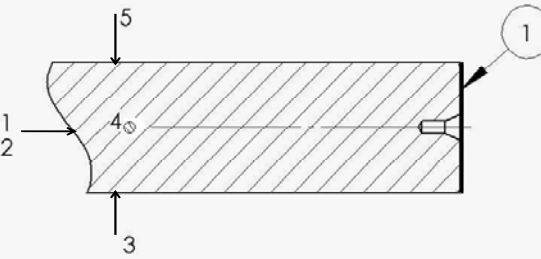
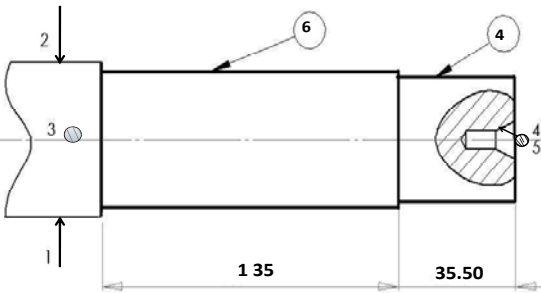
| repère | Surfaces associées | Motif de regroupement | Opération élémentaire |
|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3 | 3a ,3b et 3c | Saignée simultanée | 3F |
| 5 | 5a, 5b et 5c | Saignée simultanée | 5F |
| 6 | 6a et 6b | Dressage simultanée | 6F |
| 7 | 7a, 7b et 7c | Saignée simultanée | 7F |
| 9 | 9a, 9b et 9c | Saignée simultanée | 9F |
| 15 | 15a et 15b | Perçage simultanée | 15F |
| 16 | 16a, 16b, 16c et 16d | Epaulement simultanée | 16F |
| 17 | 17a et 17b | Fraisage simultanée | 17F |

5. Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité :

| REP. SU | Métrologie | | Technologiques | | Economiques |
|------------|---------------------------------|--|----------------|-----------|-------------|
| | Dimensionnelles et géométriques | | Opérations | divers | |
| 1F | | | | | |
| 2F | 1F, 6F | | | | 6F, 4F |
| 2fil | | | 2F | 12F | |
| 3F | 1F, 6F | | | 2F, 4F | |
| 4E | 6F | | | | 6F |
| 4F/2 | | | 4E | | |
| 4F | | | 4F/2 | | |
| 5F | 3F, 6F | | | 4F | |
| 4et5 rect | | | 4F et 5F | | |
| 6F | | | | 1F, 11F | |
| 7F | 9F, 6F, 5F | | | 8F | |
| 8E | 6F | | | | 6F |
| 8F/2 | | | 8E | | |
| 8F | | | 8F/2 | | |
| 7et8 rec | | | 7F et 8F | | |
| 9F | 6F, 11F | | | 8F et 10F | |
| 10F | 6F | | | | 6F, 8F |
| 10fil | | | 10F | 13F | |
| 11F | 1F | | | | |
| 12F | 1F ,2F | | | | |
| 13F | 10F, 11F | | | | |
| 14E | 6F, 11F | | | | 15F |
| 14F/2 | | | 14 E | | |
| 14F | | | 14F/2 | | |
| 15F | 6F | | | | |
| 16F | 6F, 5F | | | | |
| 17F | 6F | | | 16F | |
| 18F | 6F | | | 15F | |

| | |
|----|----------------------|
| 5 | 4F/2; 8F/2; 14E; 18F |
| 6 | 4F; 8F; 14F/2 |
| 7 | 2F; 10F; 14 F |
| 8 | 3F; 9F; 12F; 13F |
| 9 | 5F |
| 10 | 7F ; 16F |
| 11 | 17F |

7. Gamme d'usinage:

| N° de phase | N°de S-P | Désignation des phases. Sous-phases et Opérations | Machine utilisée | Appareillage, outils-coupants, Vérification | Croquis de la pièce |
|-------------|----------|--|-----------------------------|--|--|
| 10 | | <u>Contrôle du brut :</u> Cotes et spécifications suivant le plan de brut : Le diamètre $\varnothing 40 \pm 0.4$ La longueur $L_{\min} = 170\text{mm}$ | Atelier contrôle | Appareillages |  |
| 20 | 201 | <u>Montage en air :</u> a- Dressage en finition de la surface 1. b- Centrage de 1. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à dresser. - outil à centrer. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |
| | 202 | <u>Montage mixte :</u> c- chariotage en finition de la surface 6 au $\varnothing 35$, sur une longueur de 170mm. D- ébauche de la surface 4 au $\varnothing 32.25 \pm 0.2$, sur une longueur égale à 35.5mm. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à dresser. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |

| | | | | | |
|---|------------------------------------|---|--|---|--|
| <p>203</p> <p>TOURNER LA PIECE <i>Montage en air :</i></p> <p>e- Dressage en finition de la surface 11. Pour une longueur égale à 161 ± 0.1</p> <p>f- Centrage de 12. g- ébauche de la surface 8 au $\varnothing 32.25\pm 0.2$, sur une longueur égale à 39mm</p> | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à dresser. - outil à centrer. - Outil à charioter. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. | | | |
| <p>204</p> <p><i>Montage en pointes :</i></p> <p>h- demi-finition de la surface 8 au $\varnothing 30.45\pm 0.1$, sur une longueur égale à 40mm</p> <p>i- finir la surface 8 au $\varnothing 30.112\pm 0.05$</p> <p>j- finir la surface 10 au $\varnothing 29.8\pm 0.01$, sur une longueur égale à 25.5mm</p> | | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Palmer. - Bague $\varnothing 30$. - Des calibres. | | |
| <p>205</p> <p><i>Montage en pointes :</i></p> <p>k- faire les deux gorges 7 et 9 [1.5x1.5] ;</p> <p>l- le chanfrein 13 [1x45°]</p> <p>m- le filetage de la surface 10 [M30x1.5]</p> | | | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage droit. - Outil à gorgeage. - Outil à fileter. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. - Bague filetée à M30x1.5. | |
| <p>206</p> <p>TOURNER LA PIECE <i>Montage en pointes :</i></p> <p>n- demi-finition de la surface 4 au $\varnothing 30.45\pm 0.1$, sur une longueur égale à 36mm</p> <p>o- finir la surface 4 au $\varnothing 30.112\pm 0.05$</p> <p>p- finir la surface 2 au $\varnothing 29.8\pm 0.01$, sur une longueur égale à 21.5mm .</p> | | | | <p>Tour conventionnelle</p> | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Palmer. - Bague $\varnothing 30$. - Des calibres. |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|
| 207 | <p><u>Montage en pointes :</u></p> <p>Q- faire les deux gorges 3 et 5 [1.5×1.5] ; r- le chanfrein 12 [1×45°] s- le filetage de la surface 2 [M30×1.5]. t- finir la surface 16 au Ø30 et sur une distance de 20mm.</p> | Tour conventionnelle | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil à chariotage droit. - Outil à gorgeage. - Outil à fileter. - Outil pelle. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. - Bague fileté à M30×1.5. | | |
| 208 | <p><u>Montage en mors doux :</u></p> <p>u- perçage de part en part au Ø14. (Surface 14) v- - perçage à une profondeur de 110 au Ø18. (Surface 15)</p> | Tour conventionnelle | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - forets au Ø14, Ø18. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. | | |
| 209 | <p>TOURNER LA PIECE</p> <p><u>Montage en mors doux :</u></p> <p>INCLINER LE CHARIOT PORTE OUTIL DE 8°.</p> <p>z- ébaucher 13 au Ø14.9±0.2. w- demi-finition de 13 au Ø19.1±0.1. x- finir 13 au Ø20±0.05.</p> | Tour conventionnelle | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - outil à aléser. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse | | |
| 30 | 301 | <p>Surfaçage et le dressage du méplat 17 sur une largeur 20mm.</p> | Fraiseuse | <p><u>Outils :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fraise à 3 tailles. <p><u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pied à coulisse. | |

| | | | | | |
|--|-----|---|--------------------------|--|--|
| Traitement thermique : - trempé à huile à 880° pendant 1h. - Revenu à 550° pendant 1h. | | | | | |
| 40 | 401 | <u>Montage en pointes :</u> - Rectifier 4 et 8 à $\varnothing 30\text{m6}$. - Rectifier 5 et 7 à 84 ± 0.1 . | Rectifieuse | <u>Outils :</u> - Meule cylindrique. <u>Contrôle :</u> - Bague. - Pied à coulisse. | |
| 60 | | <u>Contrôle finale :</u> A -Dimensionnelle. B -Géométrique. C -Etat de surface. | Poste de contrôle | | |

II.2 gamme d'usinage de l'écrou :

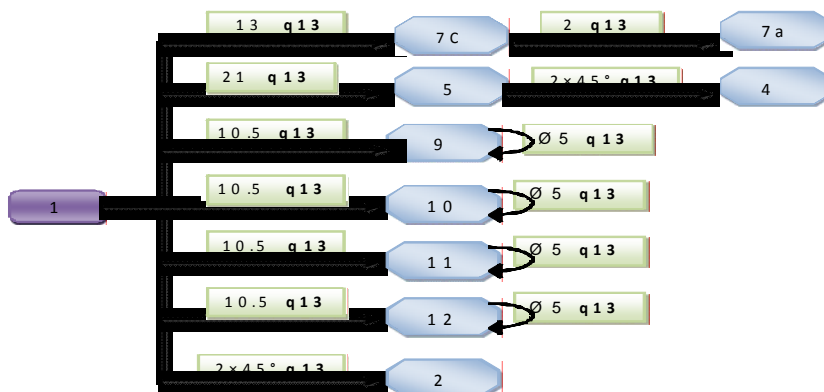
1. Inventaire des surfaces :

Les chiffres de 1,..,21 désignent les surfaces usinées.

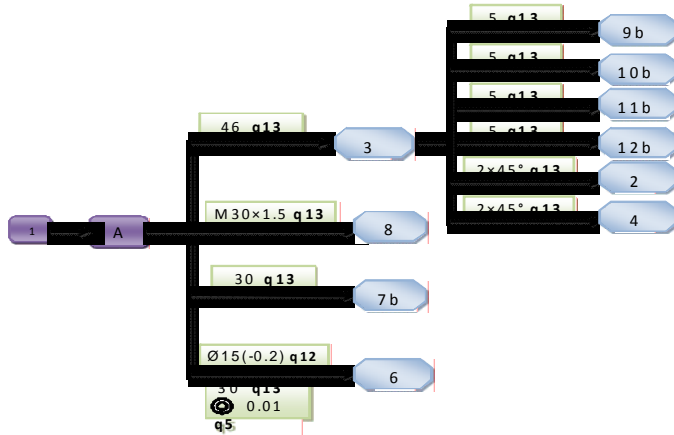
2. Les graphes des liaisons :

2.1- contraintes dimensionnelles et géométriques :

a) Selon OX :



b) Selon OZ :



3. Tableau des opérations élémentaires :

| SURFACE | Cotes de liaisons aux surfaces | | Spécifications | | | Opérations élémentaires | |
|---------|--------------------------------|-------|----------------|---------|---|-------------------------|---------------|
| | Usinée | brute | Ra | Qualité | R | opérations | symbolisation |
| 1 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 2 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 3 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 4 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 5 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 6 | * | | 1.6 | 5 | 1 | E+F/2+F+(rect) | |
| 7a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 7c | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 8 | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 9a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 9b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 10a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 10b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 11a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 11b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 12a | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |
| 12b | * | | 6.3 | 13 | 1 | F | |

4. Tableau de regroupement de surfaces :

| repère | Surfaces associées | Motif de regroupement | Opération élémentaire |
|--------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 9 | 9a et 9b | Perçage simultané | 9F |
| 10 | 10a et 10b | perçage simultané | 10F |
| 11 | 11a et 11b | Perçage simultané | 11F |
| 12 | 12a et 12b | Perçage simultané | 12F |
| 7 | 7a, 7b et 7c | Gorge simultané | 7F |

5. Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité :

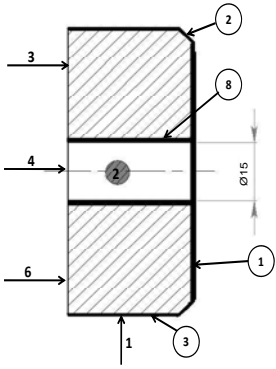
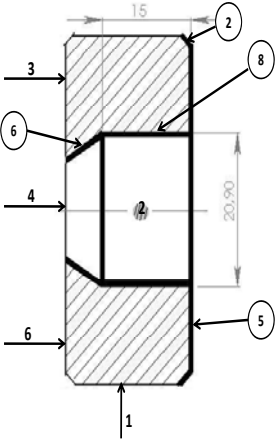
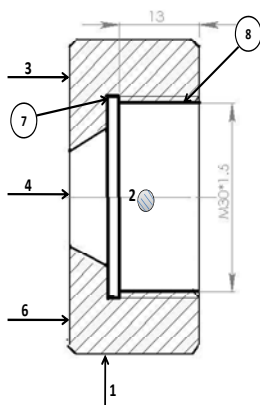
| REP SURF | Métrologie | Technologiques | | Economiques |
|-------------|---------------------------------|----------------|--------|-------------|
| | Dimensionnelles et géométriques | Opérations | divers | |
| A | | | 1F | |
| 1F | | | | |
| 2F | 1F, 3F | | | |
| 3F | A | | | |
| 4F | 3F, 5F | | | |
| 5F | 1F | | | |
| 6E | A | | | |
| 6F/2 | | 6 E | | |
| 6F | | 6F/2 | | |
| 7F | A | | | 6F |
| 8F | A | | | 6F, 7F |
| 8 FIL | | 8F | 1F, 7F | |
| 9F | 3F, 1F, 5F | | | |
| 10F | 3F, 1F, 5F | | | |
| 11F | 3F, 1F, 5F | | | |
| 12F | 3F, 1F, 5F | | | |

| | | Sortie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|--------|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|------|------|------|----|----|----|----|----|----|
| | | A | 1F | 2F | 3F | 4F | 5F | 6E | 6 F/2 | 6F | 7F | 8F | 9F | 10 F | 11 F | 12 F | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 |
| Entrée | A | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | | | | |
| | 1F | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | |
| | 2F | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 1 | 0 | | |
| | 3F | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 0 | | | |
| | 4F | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 1 | 0 | | |
| | 5F | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0 | | | | |
| | 6E | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 0 | | | |
| | 6F/2 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 0 | | |
| | 6F | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| | 7F | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| | 8F | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | 9F | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | | | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| 10F | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | | 3 | 2 | 1 | 0 | | | |
| 11F | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 3 | 2 | 1 | 0 | | | |
| 12F | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | |

6. Tableau des niveaux :

| Niveaux | Les operations |
|---------|---------------------------------|
| 1 | 1F |
| 2 | 5F |
| 3 | 3F, 6F |
| 4 | 2F, 4F, 6F/2, 9F, 10F, 11F, 12F |
| 5 | 6F, 7F |
| 6 | 8F |

7. Gamme d'usinage:

| N° de phase | N° de S-P | Désignation des phases. Sous-phases et Opérations | Machine utilisée | Appareillage, outils-coupants, Vérification | Croquis de la pièce |
|-------------|-----------|--|----------------------|--|---|
| 10 | | <u>Contrôle du brut :</u> Cotes et spécifications suivant le plan de brut : Le diamètre $\varnothing 50 \pm 0.4$ La longueur $L_{\min} = 25\text{mm}$ | Atelier contrôle | appareillages | |
| 20 | 201 | <u>Montage en air :</u> a- Dressage en finition de la surface 1. b- chariotage en finition de la surface 3 au $\varnothing 46$. c- chanfreinage de 2 [$1 \times 45^\circ$]. d- Perçage de 8 au $\varnothing 10$. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à dresser. - Outil à charioter. - Foret à $\varnothing 10$. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. |  |
| 207 | | <u>Montage en air :</u> e- Dressage en finition de la surface 5. f- chanfreinage de 2 [$1 \times 45^\circ$]. g- aléser 8 au $\varnothing 20.9$ à une distance de 15mm. Incliner le chariot porte outil de 30° . h- ébaucher 6 au $\varnothing 14.69 \pm 0.5$. i- demi-finition de 6 au $\varnothing 14.84 \pm 0.1$. j- finir 6 au $\varnothing 15^{+0}_{-0.2}$. | Tour conventionnelle | <u>Outils :</u> - Outil à aléser. <u>Contrôle :</u> Pied à coulisse |  |
| | | k- aléser 8 à $\varnothing 28.37$. l- faire la gorge 7 [2×2]. m- faire le filetage [M30x1.5]. | | <u>Outils :</u> - Outil à aléser. - Outil à fileter. <u>Contrôle :</u> - Pied à coulisse. - arbre fileté à M30x1.5. |  |

| | | | | | |
|-----------|------------|--|--------------------------|---|--|
| | 309 | a- perçage de 9,10, 11 et 12 en finition au Ø5, à 5mm de profondeur. | perceuse | Outils : - Foret Ø5. Contrôle : - Pied à coulisse. | |
| 40 | 401 | <u>Contrôle finale :</u> A -Dimensionnelle. B -Géométrique. C -Etat de surface. | Poste de contrôle | | |

8. Calcul des paramètres:

Le tableau ci-dessous regroupe les calculs des paramètres de coupe De la porte pince (pour mieux comprendre les désignations des surface, voir la gamme d'usinage associée) avec des outils ARS:

| Operations | D | a | Vth | N | Vc | f | Vf | |
|-------------------------|------|-------|------|-----|--------|-------|------|----|
| Dressage de 1 (F) | 50 | 2.5 | 20 | 160 | 25.133 | 0.8 | 16 | |
| Dressage de 5 (F) | 46 | 2.5 | 20 | 160 | 23.12 | 0.8 | 16 | |
| Chariotage de 3 (F) | 50 | 2 | 20 | 160 | 25.133 | 0.2 | 16 | |
| Filetage de 8 | 29.8 | 0.2 | 25 | 125 | 11.702 | 0.08 | 10 | |
| Chamfreinage de 2et 4 | 46 | 2 | 20 | 200 | 28.9 | 0.8 | 16 | |
| Gorge 7 (F) | 30 | 2 | 20 | 200 | 18.849 | 0.08 | 16 | |
| Perçage 9, 10, 11 et 12 | 5 | 4 | 20 | 400 | 6.283 | 0.8 | 30 | |
| Perçage 8 | E | 10 | 4 | 20 | 7.85 | 0.2 | 30 | |
| | F | 20.9 | 0.5 | 28 | 400 | 26.26 | 0.05 | 13 |
| Alésage du cône | E | 10 | 4 | 20 | 5.03 | 0.2 | 30 | |
| | F/2 | 14.69 | 0.6 | 25 | 250 | 11.54 | 0.08 | 20 |
| | F | 14.84 | 0.45 | 28 | 300 | 13.99 | 0.05 | 13 |

| Operations | a | f | K _S | Fc | Fa | Fp | Nc ×10 ³ | Na ×10 ³ |
|-------------------------|-----|------|----------------|---------|---------|---------|------------------------|------------------------|
| Dressage de 1 (F) | 2.5 | 0.8 | 5558.65 | 11116 | 5002.2 | 3334.8 | 279.4 | 80 |
| Dressage de 5 (F) | 2.5 | 0.8 | 5558.65 | 11116 | 5002.2 | 3334.8 | 257 | 80 |
| Chariotage de 3 (F) | 2 | 0.2 | 88938.5 | 35575.4 | 16008.9 | 10672.6 | 894.1 | 256.14 |
| Filetage de 8 | 0.2 | 0.08 | 555866 | 8893.85 | 4002.2 | 2668.1 | 104.07 | 40.02 |
| Chamfreinage de 2et 4 | 2 | 0.8 | 5558.66 | 8893.85 | 4002.2 | 2668.1 | 257 | 64.03 |
| Gorge 7 (F) | 2 | 0.08 | 555866 | 889.4 | 400.23 | 266.82 | 16.76 | 6.4 |
| Perçage 9, 10, 11 et 12 | 4 | 0.8 | 5558.66 | 17787.7 | 8004.46 | 5336.31 | 111.76 | 240.13 |
| Perçage 8 | E | 2 | 88938.5 | 35575.5 | 16008.9 | 10672.6 | 279.26 | 480.27 |
| | F | 0.2 | 1423016 | 14230.1 | 6403.5 | 4269.03 | 373.68 | 83.25 |
| Alésage du cône | E | 4 | 88938.5 | 71150.8 | 32017.8 | 21345.2 | 357.89 | 960.53 |
| | F/2 | 0.6 | 555866 | 26681.5 | 12006.6 | 8004.45 | 307.9 | 240.13 |
| | F | 0.45 | 1423016 | 32017.8 | 14408 | 9605.34 | 447.93 | 187.30 |

ANNEXE III

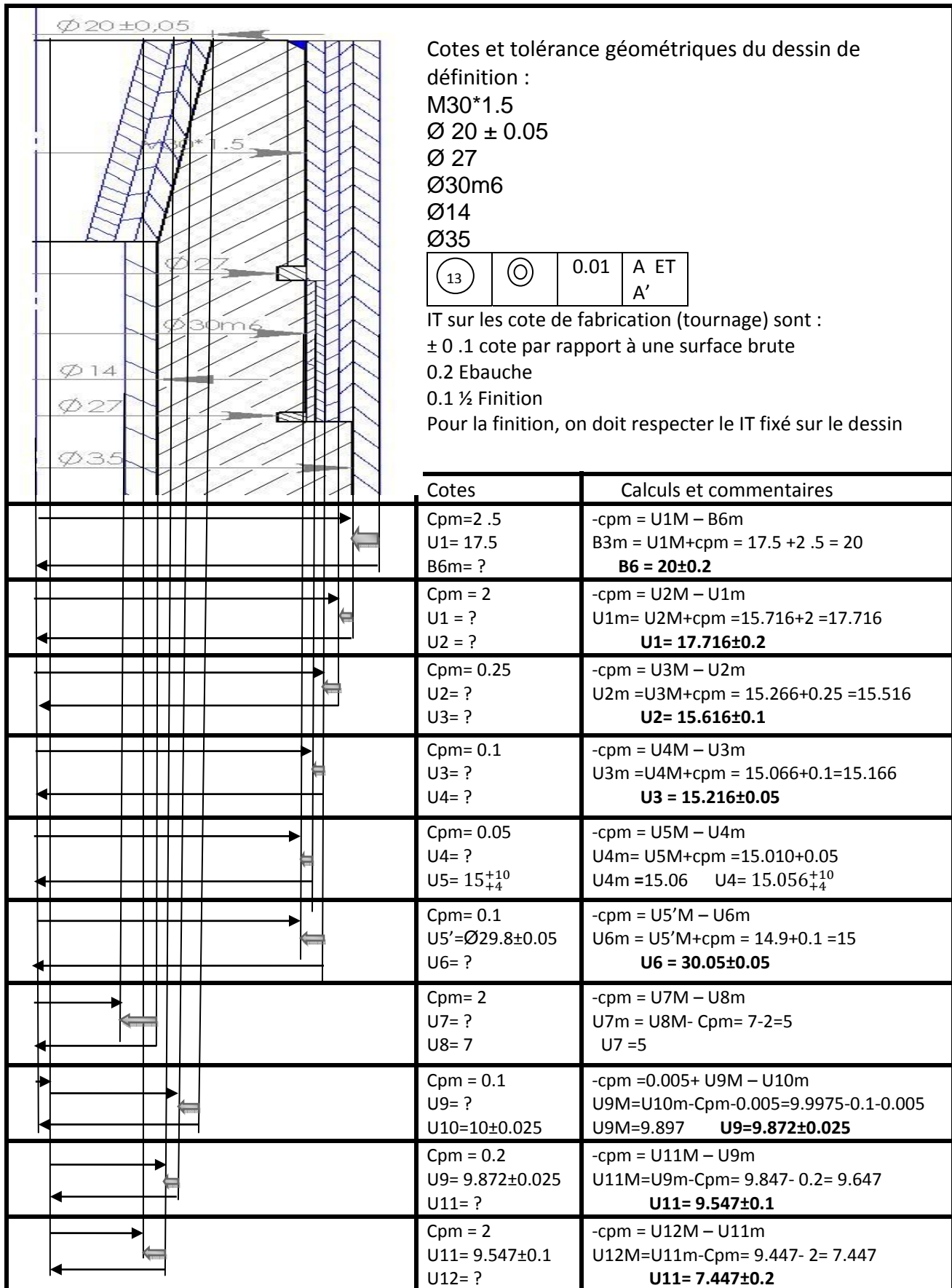
Programme de l'Écrou

%3000

N001 G71 G54
N002 G58 Z 25
N003 T1 D1 M6 (*outil de dresser et charioter*)
N004 G96 S120 M03(Dressage de 1)
N005 G95 F 0,25
N006 G00 X25 Z0 M08
N007 G01 X0
N008 G00 Z01 X21 M09 M00
N009 G96 S100 M0 3
N010 G94 F100 M08
N011 G01 Z-3 X25 (*chanfrein 2*)
N012 G00 Z0 X23
N013 G01 Z-25 (*chariotage de 3*)
N013 G00 X23 Z 1 M09
N014 T2 D2 M6 (*outil à aléser*)
N015 G97 S1000
N016 G94 F 80 M08
N017 X10
N018 G01 Z-25
N019 G00 Z2
N020 X50
N021 T1 D1 M6
N022 G96 S120 M03(Dressage de 5)
N023 G95 F0.25
N024 G00 X25 Z0 M08
N025 G01 X0
N026 G00 Z01 X21 M09 M00
N027 G96 S100 M0 »
N028 G94 F100 M08
N029 G01 Z-2 X24 (*chanfrein 4*)
N030 G00 Z1 X23
N031 X19
N032 G97 S 800
N032 G94 F 160
N033 G01 Z -16 (6 E)
N034 X13 Z-21
N035 G00 Z01
N036 X20.5
N037 G97 S 1000
N038 G94 F 100
N039 G01 Z-16 (6F/2)
N040 X14.6 Z-21
N041 G00 Z01
N042 X20.9
N043 G97 S 1400
N044 G94 F 65

N045 G01 Z-16 (6F)
N046 X15 Z-21
N047 G00 Z1
N048 X28.37
N049 G01 Z-16
N050 G00 X0
N051 Z100
N052 T3 D3 M6 (outil à gorge)
N053 G96 S 60 Faire la gorge
N054 G95 F 0,08
N055 G00 Z1 X 28 M08
N056 Z-15
N057G01 X30
N058G00 X0
N059 Z100
N053 T4 D4 M6
N054 G97 S 630 Filetage intérieur
N055 G94 F 50,4
N056 G00 X 32 Z 5 M08
N057 R20= 1.5 R21= 28,37 R22= 0
N058 R23= 4 R24= +0.8 R25= 0.1
N059 R26= 3 R27= 1 R28= 5
N060 R29=60 R31=28,37 R32= -14
N061 L97 P1
N062 G00 X 10 M09
N063 G00 Z 200
N064 G00 X 200
N065 M02

ANNEXE IV



| | | |
|--|--|---|
| | <p>Cotes et tolérance géométriques du dessin de définition :</p> <p>25 Ø18 Ø35</p> <p>IT sur les cote de fabrication (tournage) sont :</p> <p>± 0 .1 cote par rapport à une surface brute 0.2 Ebauche 0.1 ½ Finition</p> <p>Pour la finition, on doit respecter le IT fixé sur le dessin</p> | |
| | Cotes | Calculs et commentaires |
| | Cpm=2.5 U1= 17.5 U13= ? | -cpm = U13M – U1m U13M = U1m-cpm = 17.5 -2.5 = 15 U13 = 15 |
| | Cpm = 2.5 U13 = 15 U14 = ? | -cpm = U14M – U13m U14M= 13m-cpm =15-2.5 =12.5 U1= 12.5 |
| | Cpm= 2 U15= 9 U16= ? | -cpm = U16M – U15m U16M =U15m-cpm = 9- 2= 7 U16= 7 |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>Cotes et tolérance géométriques du dessin de définition :13.8^{+0.1}₀</p> <p>Ø12H7</p> <p>IT sur les cote de fabrication (tournage) sont :</p> <p>± 0 .1 cote par rapport à une surface brute 0.2 Ebauche 0.1 ½ Finition</p> <p>Pour la finition, on doit respecter le IT fixé sur le dessin</p> | |
| | Cotes | Calculs et commentaires |
| | Cpm =0.1 U17= 6 ⁺¹⁰ ₀ U18= ? | -cpm = U18M – U17m U18M =U17m-cpm = 6- 0.1= 5.9 U18= 5.9 ±0.01 |
| | Cpm= 0.2 U18=5.91±0.1 U19= ? | -cpm = U19M – U18m U19M =U18m-cpm = 5.91- 0.2 = 5.71 U19= 5.61±0.1 |
| | Cpm= 2 U19=5.61±0.1 U20= ? | -cpm = U20M – U19m U20M =U19m-cpm = 5.51- 2= 3.31 U20= 3.11±0.2 |

| | | | | | | |
|-------------------|---|--|-------------------|-------------------------|------|---|
| | <p>Cotes et tolérance géométriques du dessin de définition :</p> <p>$\varnothing 15_{-0.2}$ $\varnothing 60$ $M30 \times 1.5$</p> <table border="1" data-bbox="853 504 1212 571"> <tr> <td>$\textcircled{6}$</td> <td>$\textcircled{\ominus}$</td> <td>0.01</td> <td>A</td> </tr> </table> | | $\textcircled{6}$ | $\textcircled{\ominus}$ | 0.01 | A |
| $\textcircled{6}$ | $\textcircled{\ominus}$ | 0.01 | A | | | |
| | <p>Cotes</p> <p>Cpm = 2 U1 = 23 B3m = ?</p> | <p>Calculs et commentaires</p> <p>-cpm = U1M - B3m B3m = U1M + cpm = 23 + 2 B3m = 25</p> | | | | |
| | <p>Cpm = 2 U2 = 15 B7M = ?</p> | <p>-cpm = - U2 + B7M B7M = U2 - cpm = 15 - 2 B7M = 13</p> | | | | |
| | <p>Cpm = 1 U3 = 28.37 B8M = ?</p> | <p>-Cpm = B8M - U3 B8M = U3 - cpm = 28.37 - 1 B8M = 27.37</p> | | | | |
| | <p>$\textcircled{\ominus} = 0.01$ U4 = $0^{\pm 0.005}$</p> | <p>Tolérance géométrique réalisée directement</p> | | | | |
| | <p>Cpm = 0.1 U4 = .005 U5 = $\varnothing 15_{-0.2}$ U6 = ?</p> | <p>-Cpm = U4M - U5M + U6m U6m = -U4M + U5M - cpm = -0.005 + 7.5 - 0.1 = 7.395 U6 = 7.42 ± 0.025</p> | | | | |
| | <p>Cpm = 0.2 U6 = $5.495_{-0.2}$ U7 = ?</p> | <p>-Cpm = U7M - U6m U7M = U6m - Cpm = 7.395 - 0.2 = 7.195 U7 = 7.345 ± 0.05 (IT de BM)</p> | | | | |
| | <p>Cpm = 2 U7 = 5.045 ± 0.05 U8 = ?</p> | <p>-Cpm = U8M - U7m U7M = U7m - Cpm = 7.295 - 2 = 5.295 U7 = 5.045 ± 0.25 (IT de BM)</p> | | | | |

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **A.Brand**, « Fatigue des alliages ferreux », Technique de l'ingénieur, B5050.
- [2] **J.Lemaitre, J-L.Chaboche**, « Mécanique des matériaux solides », Edition Dunod, 1988.
- [3] **C. Bathias, J.P. Bailon**, « La fatigue des matériaux et des structures », Presse de l'université de Montréal, 1980.
- [4] **J. Lemaître**, « *A Course on Damage Mechanics* », Springer (1996).
- [5] **M.Sofiane Mokrane**, « Etude et conception d'un système de fixation pour la machine de flexion rotative application avec Solidworks ». PFE/ ENP, 2007.
- [6] **Cazaud**, « La fatigue des métaux », Edition Dunod, 1969.
- [7] **A. Brand, J.F. Flavenot, R. Grégoire, C.Tournier**:« Données technologiques sur la fatigue », CETIM, Paris, 1992.
- [8] **A. Serray**, « Quantification de l'endommagement par fatigue en flexion rotative par la traction », PFE/ENP, 1999.
- [9] **T. Boudaoud, A.chabane**, « Etude expérimentale du phénomène de fatigue sous entaille en flexion rotative », PFE/ENP, 1997.
- [10] Normes Françaises de produits Sidérurgiques-NF A 03-401- 1986.
- [11] **D. Mecheri**, « Etude du facteur de sensibilité à l'entaille par un modèle utilisant le gradient de contrainte, étude expérimentale et modélisation », magister/enp.
- [12] **A.SABER** « Analyse de fabrication ».
- [13] **R. Dietrich, D. Garsaud, S. Gentillon, M. Nicolas** Précis de méthodes d'usinage ; « méthodologie, production et normalisation », 5^e édition.
- [WEB 1]: <http://www.schaublin.com> (Pince Schaublin)