

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
**DEPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat**  
**en Génie Mécanique**

**Thème :**

**Conception d'un banc d'essai pour des tests en**  
**fatigue sous corrosion sur plusieurs**  
**éprouvettes simultanément**

Présenté par :

**ABDELLAOUI Zouhir**

Promoteurs :

**Mr. Y.BELKACEMI**

**Mr. B.GUERGUEB**

Promotion : septembre 2012

---

## Remerciements

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donnée la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Je remercie aussi ma famille, à qui revient la gloire de m'avoir éduqué, encouragé et soutenu.

Je tiens tout particulièrement à remercier mes promoteurs M<sup>r</sup> BELKACEMI et M<sup>r</sup> GUERGUEB d'avoir accepté de diriger cette étude.

Je remercie également les membres du jury, qui ont accepté de discuter et d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

J'adresse aussi ma profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

---

### ملخص:

هذا العمل هو دراسة تصميم لجهاز اختبار التعب تحت تأثير التآكل على عدة عينات. يتم إجراء عمليات المحاكاة على عينات مسطحة وناعمة، لمعرفة العيوب الناجمة

### الكلمات المفتاحية:

آلة الاختبار، عينة، تآكل، تعب.

### Résumé:

Ce travail est une étude de conception d'une machine d'essai de fatigue sous corrosion ainsi que la réalisation de l'assemblage correspondant pour plusieurs éprouvettes.

Des simulations numériques sont faites sur des éprouvettes plates et lisses, pour voir l'influence des défauts sur les matériaux.

### Mots clés:

Fatigue, corrosion, machine d'essai de fatigue, éprouvette lisse.

### Abstract:

This work is a study of designing a test machine under corrosion fatigue and the realization of the corresponding mounting for several specimens.

Numerical simulations are doing on specimens flat and smooth, to see the influence of defects on materials.

### Keywords:

Fatigue, corrosion fatigue testing machine, specimens.

---

## TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	8
1. Généralités.....	10
1.1. Courbe de Wöhler et limite d'endurance.....	10
1.2. Diagrammes d'endurance .....	10
1.3. Facteurs influençant la résistance à la fatigue.....	11
1.3.1. Concentration de contrainte.....	11
1.3.2. État de surface .....	12
1.3.3. Effet d'échelle.....	13
1.3.4. Contraintes résiduelles .....	13
1.4. Influence de la corrosion.....	13
1.5. Classification des sollicitations des essais de fatigue .....	14
2. Fatigue sous corrosion.....	16
2.1. Les formes de corrosion qui conduisent à la rupture .....	16
2.2. Fatigue sous corrosion dans un environnement aqueux de sel .....	17
2.3. Aspect phénoménologique.....	17
3. Effet d'entaille.....	20
3.1. Introduction.....	20
3.2. Effet d'une entaille.....	20
3.3. Facteur de concentration de contrainte .....	20
4. Conception du banc d'essai.....	24
4.1. Introduction.....	24
4.2. SolidWorks .....	25
4.2.1. Définitions.....	25
4.2.2. Différentes utilisations de SolidWorks .....	25
4.2.3. Utilité de SolidWorks dans notre travail .....	25
4.3. Description du banc d'essai .....	25
4.4. Principe de fonctionnement .....	28
4.5. Description du système de transmission de mouvement.....	28
4.5.1. Tige de force.....	28

---

4.5.2. Pièce en T .....	29
4.5.3. Pièce excentrique.....	30
4.6. Assemblage du système de transmission de mouvement.....	31
4.7. Répartition des contraintes.....	33
4.7.1. Introduction .....	33
4.7.2. L'éprouvette d'essai .....	33
4.7.3. Répartition de contrainte .....	35
4.7.4. Application numérique.....	36
4.8. Simulation Numérique .....	38
4.8.1. Résultats .....	38
4.9. Les caractéristique du banc d'essai .....	39
4.9.1. Caractéristique du moteur électrique.....	39
5. Conclusion générale .....	43
6. Bibliographie .....	44

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Allure typique d'un comportement en flexion alternée .....	10
Figure 2 : Diagramme de Haigh. ....	11
Figure 3 : concentration de contrainte sur une éprouvette entailler .....	12
Figure 4 : Différents types de sollicitation. ....	14
Figure 5 : Conditions théoriques de corrosion, l'immunité et de passivation des iron1 (a) passivation par un film de $Fe_2O_3$ , (b) passivation par des films de $Fe_2O_3$ et $Fe_3O_4$ .....	16
Figure 6 : Corrosion-fatigue et son effet général sur le comportement de l'acier.....	17
Figure 7 Différents types de comportement en fissuration par fatigue sous corrosion .....	18
Figure 8 Bande avec un trou central comme prototype d'une plaque entaillée .....	22
Figure 9 : Machine d'essai pour des tests en fatigue sous corrosion [4].....	24
Figure 10 : présentation 2D de la machine simplifié.....	26
Figure 11 : Représentation 3D de la machine d'essai .....	27
Figure 12 : Représentation 3D des dimensions de la manivelle.....	28
Figure 13 : Représentation 3D des dimensions de la pièce en T.....	29
Figure 14 : Représentation 3D des démenions de la bielle .....	30
Figure 15 : Représentation 3D de système de transmission de mouvement .....	31
Figure 16 : Représentation 2D de système de transmission de mouvement avec éprouvette ..	32
Figure 17 : Représentation 2D d'une éprouvette d'essai lisse .....	34
Figure 18 : Représentation 3D d'une éprouvette d'essai lisse .....	34
Figure 19 : Représentation 3D d'une éprouvette d'essai lisse .....	37
Figure 20 : Résultats de dimensionnements donnés par simulation numérique.....	38
Figure 21 : Résultats de dimensionnements donnés par simulation numérique.....	39
Figure 22 : paramètres de système de transmission de mouvement.....	41

---

# Introduction Générale

---

## Introduction générale

Le mot fatigue est Utilisé fréquemment en science de l'ingénierie pour montrer l'endommagement, la fissuration et la rupture des matériaux sous une sollicitation mécanique cyclique.

Ce domaine a commencé à se développer avec l'augmentation de l'usage des structures métalliques : ponts et chemins de fer etc.

Pour les pièces mécaniques en acier travaillant dans un milieu corrosif dont les effets sont un des facteurs provoquant l'endommagement des pièces [3].

L'objectif de ce travail est de concevoir une machine de fatigue sous corrosion utilisant plusieurs éprouvettes. Le principe est inspiré d'une machine similaire réalisé par **K Berchem** et **M G Hocking**, [4].

Le travail est constitué de quatre chapitres.

Le premier concerne des généralités sur la fatigue. Le chapitre deux est concerne le phénomène de fatigue sous corrosion. Le troisième chapitre donne un aperçu sur l'effet d'entaille. La conception de la machine en utilisant SolidWorks est traitée au chapitre 4.

Des éléments de calcul sont traités dans ce chapitre. Ensuite Nous avons entamé la conception de la machine de fatigue en moyennant de logiciel de conception « SOLIDE WORKS ».

Enfin nous avons terminé notre étude par un essai de Simulation en présentant les différents résultats avec une interprétation.



---

# Chapitre I

## **Généralités**

---

## 1. Généralités

### 1.1. Courbe de Wöhler et limite d'endurance

La courbe de Wöhler pour une contrainte moyenne donnée, traduit l'évolution des nombres de cycles de rupture  $N$  en fonction de l'amplitude de la contrainte appliquée  $\sigma$  (fig. 1) [1].

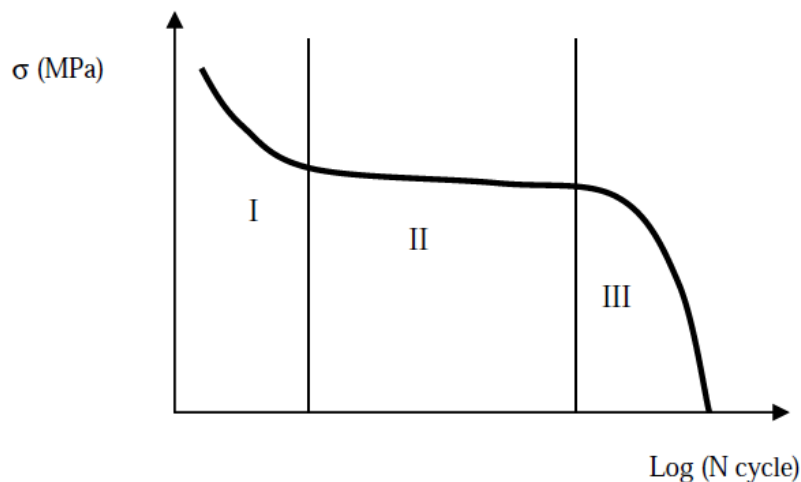


Figure 1 : Allure typique d'un comportement en flexion alternée

Sur une courbe de Wöhler, on distingue trois domaines :

- I. Domaine de fatigue oligocyclique : sous de fortes amplitudes de contrainte, les ruptures surviennent après un petit nombre de cycles ( $N \leq 10^4$  cycles).
- II. Domaine d'endurance limité: les ruptures se produisent après un nombre de cycle  $N$  variant entre  $10^4$  et  $10^6$  cycles).
- III. Domaine d'endurance illimité : les ruptures ne se produisent pas avant un nombre de cycles supérieur à la durée de vie envisagée de la pièce.

Pour la plupart des aciers, la courbe de Wöhler présente une asymptote qui définit la **limite de fatigue** du matériau, c'est-à-dire l'amplitude en dessous de laquelle on n'observera pas d'amorçage de fissure conduisant à une rupture, [6].

### 1.2. Diagrammes d'endurance

La courbe de Wöhler et la limite d'endurance sont déterminées pour une contrainte moyenne  $S_m$ . Si cette contrainte moyenne augmente, l'amplitude de contrainte admissible diminue et on pourra tracer l'évolution de la contrainte admissible pour différentes valeurs de la contrainte moyenne, à condition de réaliser les essais correspondants. Le comportement du matériau,

quelle que soit la contrainte moyenne du chargement, sera alors caractérisé à l'aide des diagrammes d'endurance de Haigh (fig. 2).

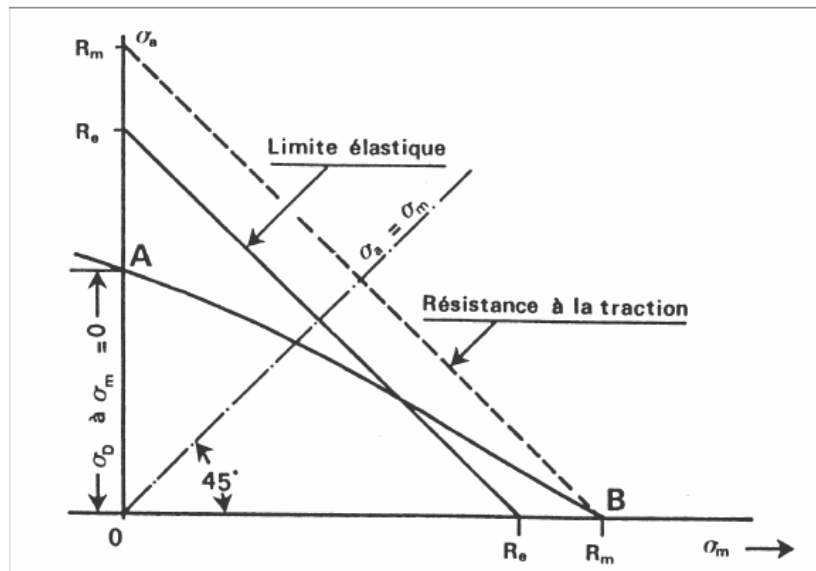


Figure 2 : Diagramme de Haigh.

### 1.3. Facteurs influençant la résistance à la fatigue

#### 1.3.1. Concentration de contrainte

C'est le facteur d'influence le plus important pour la résistance à la fatigue d'une pièce.

A l'emplacement d'un accident de géométrie (gorge, rainure, etc.), la contrainte locale est augmentée par rapport à la contrainte nominale : on est en présence d'une concentration de contrainte (fig. 3). L'importance de cette augmentation locale de contrainte est quantifiée par le facteur :

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$$

En fatigue, l'influence de la concentration de contraintes dépend de ce facteur  $K_t$  mais aussi de la nature du matériau : plus il est ductile, plus il s'adaptera à la sollicitation, [5].

On définit un facteur effectif de concentration de contrainte en fatigue par :

$$K_f = \frac{\sigma_{ne}}{\sigma_e}$$

$\sigma_{ne}$  Limite d'endurance d'une éprouvette non entaillée

$\sigma_e$  Limite d'endurance d'une éprouvette entaillée

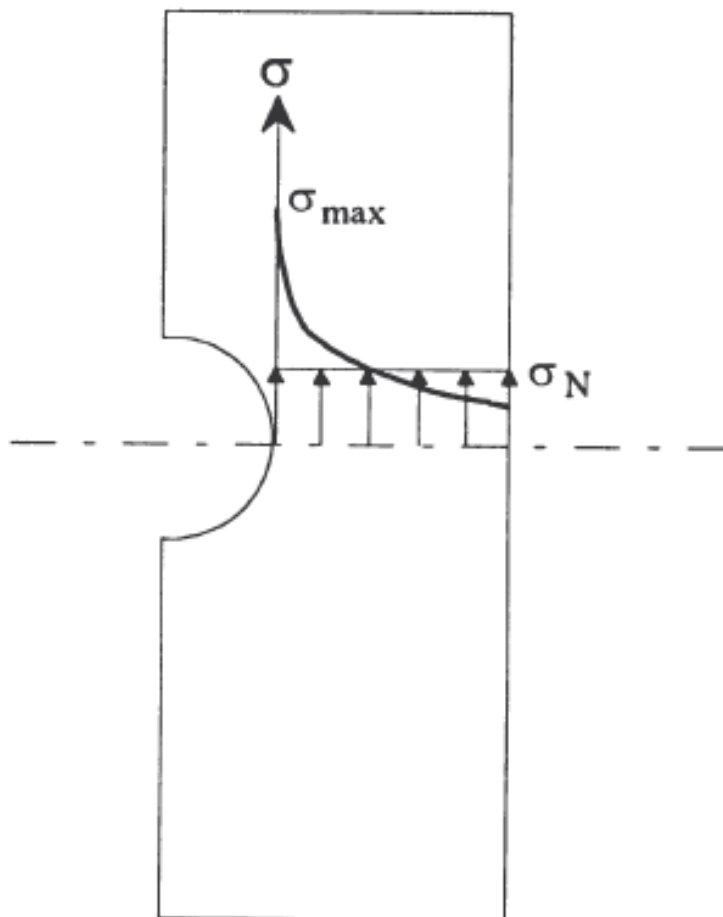


Figure 3 : concentration de contrainte sur une éprouvette entailler

### 1.3.2. État de surface

On sait depuis longtemps que l'état de surface d'une pièce mécanique conditionne sa résistance à la fatigue. Plus cet état sera grossier, plus la limite d'endurance sera abaissée d'un facteur  $K_s$  du fait de la présence des défauts superficiels. Ce phénomène est d'autant plus sensible que le

matériau est plus résistant. Sur une pièce soumise à un chargement de fatigue, on a donc intérêt à soigner d'autant plus l'état de surface final que le matériau qui la constitue.

### 1.3.3. Effet d'échelle

Une pièce de plus grande dimension présentera une plus faible durée de vie. Cela tient à deux facteurs : effet de gradient et effet statistique.

Pour les pièces travaillant en flexion, en torsion ou en traction avec présence d'entaille, l'évolution de la contrainte sous la surface influence la résistance à la fatigue : plus une pièce est de faible dimension, plus le gradient est élevé et plus la résistance à la fatigue sera grande. Par ailleurs, plus une pièce est de grande dimension, plus on a statistiquement de chance de trouver un défaut qui conduira à l'amorçage d'une fissure de fatigue.

### 1.3.4. Contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles, qui résultent de la fabrication, sont présentes dans la pièce mécanique en l'absence de tout effort extérieur. Elles vont se superposer au chargement de fatigue et donc modifier la contrainte moyenne. On peut tenir compte de ces contraintes dans un calcul en utilisant les diagrammes d'endurance de Haigh ou de Goodmann ou mieux les diagrammes de fatigue multiaxiale (les contraintes résiduelles sont en effet biaxiales en surface et triaxiales dans la pièce).

## 1.4. Influence de la corrosion

L'étude du stade de propagation d'une fissure de fatigue sous corrosion, à l'aide des concepts de la mécanique de la rupture, permet de connaître l'importance relative du stade de propagation dans la durée de vie totale d'une pièce et d'une structure.

Cette étude est d'autant plus importante que, dans certaines conditions d'environnement et de sollicitation, la fissure de fatigue peut se propager beaucoup plus rapidement que dans l'air ambiant [2].

L'étude quantitative du stade de propagation d'une fissure de fatigue est rendue possible grâce à l'introduction des concepts de la mécanique de la rupture et en particulier du facteur

d'intensité de contrainte  $K$  qui permet d'exprimer l'état des contraintes au voisinage d'une fissure [8].

### 1.5. Classification des sollicitations des essais de fatigue

On peut distinguer deux grandes catégories d'essais de fatigue: les essais sous amplitude de sollicitation constante, et les essais sous amplitude de sollicitation variable simulant des sollicitations en service, elles-mêmes d'amplitude variable. Ces derniers essais sont généralement pratiqués sur structure réelle, ou au moins sur maquette, tandis que les essais à amplitude constante sont la plupart du temps pratiqués sur éprouvette.

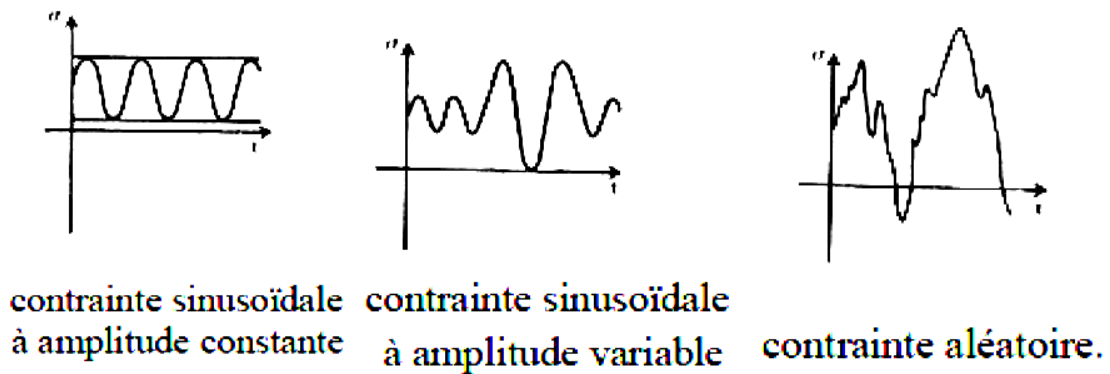


Figure 4 : Différents types de sollicitation.

---

# Chapitre II

## **Fatigue sous corrosion**

## 2. Fatigue sous corrosion

### 2.1. Les formes de corrosion qui conduisent à la rupture

Le En 1966, Marcel Pourbaix démontré qu'un métal se comporte en quatre façons déferentes lorsqu'il est exposé à un fluide corrosif, en faisant varier le potentiel de l'électrode et le pH de la solution, il a réussi à créer ce qu'on appelle diagrammes de Pourbaix qui démontrent l'activité de corrosion qui est thermodynamiquement favorisée dans un système donné.

Un exemple d'un Diagramme de Pourbaix pour un système de fer-eau à 25 C est donné par la figure 5.

Le schéma est divisé en quatre zones qui représentent les façons dont un métal peut réagir à un environnement corrosif de fluide, [3].

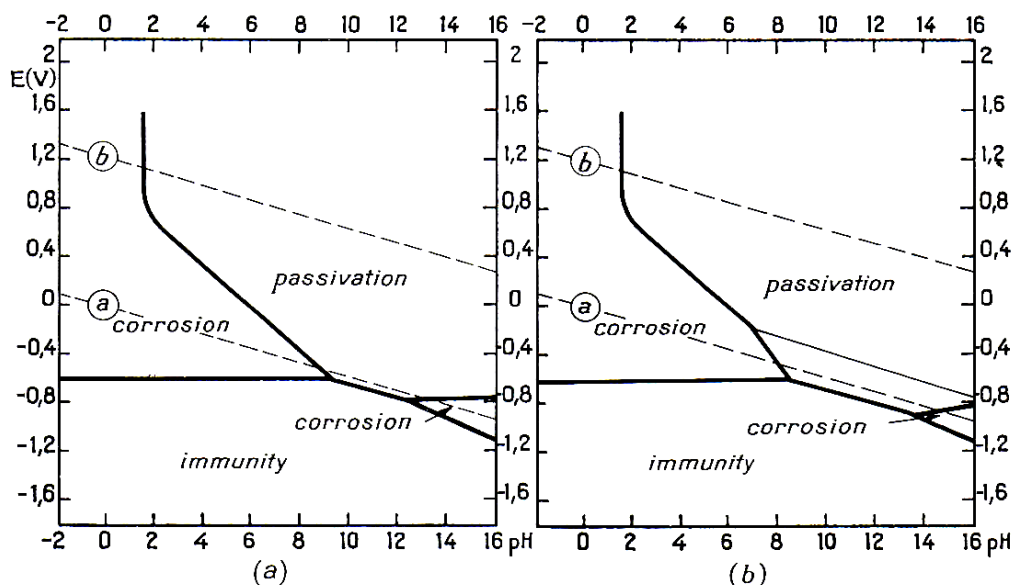


Figure 5 : Conditions théoriques de corrosion, l'immunité et de passivation des iron1

(a) passivation par un film de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,

(b) passivation par des films de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

### 2.1. Le Mécanisme de la fatigue sous Corrosion

Une étude réalisée par Scott a trouvé que l'ouverture qui cause la propagation et la croissance des fissures de fatigue sont affectées par l'environnement.



Par conséquent, les mécanismes d'initiation des fissures sont très importants dans l'étude de la fatigue sous corrosion.

Quatre mécanismes ont été suggérés :

1. Piqûres de corrosion conduisant à des concentrations de contraintes
2. Attaque électrochimique à des emplacements sur la surface de métal
3. Formation d'un film d'oxyde sur la surface
4. Une diminution de l'énergie de surface de l'alliage

## 2.2. Fatigue sous corrosion dans un environnement aqueux de sel

La première tendance à être remarquée dans la corrosion-fatigue est que la limite de fatigue de l'acier dans l'air est supérieure à celle obtenue dans un milieu corrosif de sel.

Comme illustre la figure 6, la résistance à la fatigue du métal dans un milieu corrosif continue de diminuer lorsqu'on augmente le nombre de cycle [3].

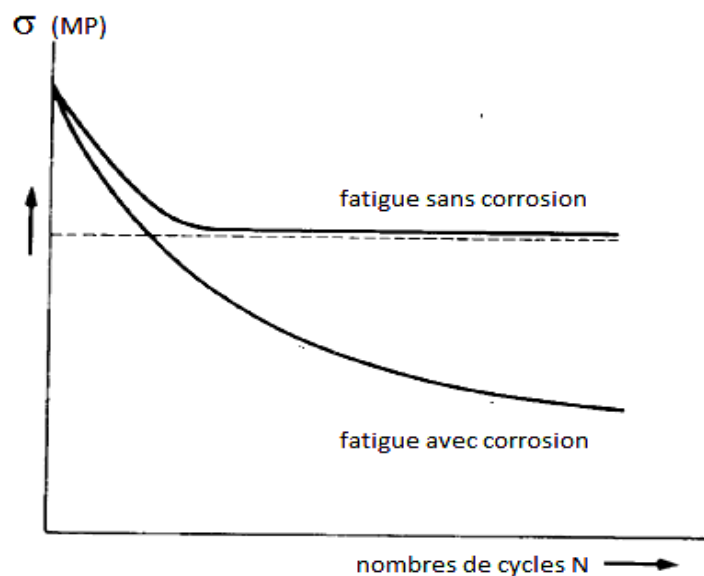


Figure 6 : Corrosion-fatigue et son effet général sur le comportement de l'acier

## 2.3. Aspect phénoménologique

De manière à rendre compte de l'influence d'un milieu corrosif donné sur les caractéristiques de propagation, il est nécessaire d'effectuer au préalable des essais dans un milieu de référence.

Celui-ci sera par principe inerte vis-à-vis de l'alliage étudié [2].

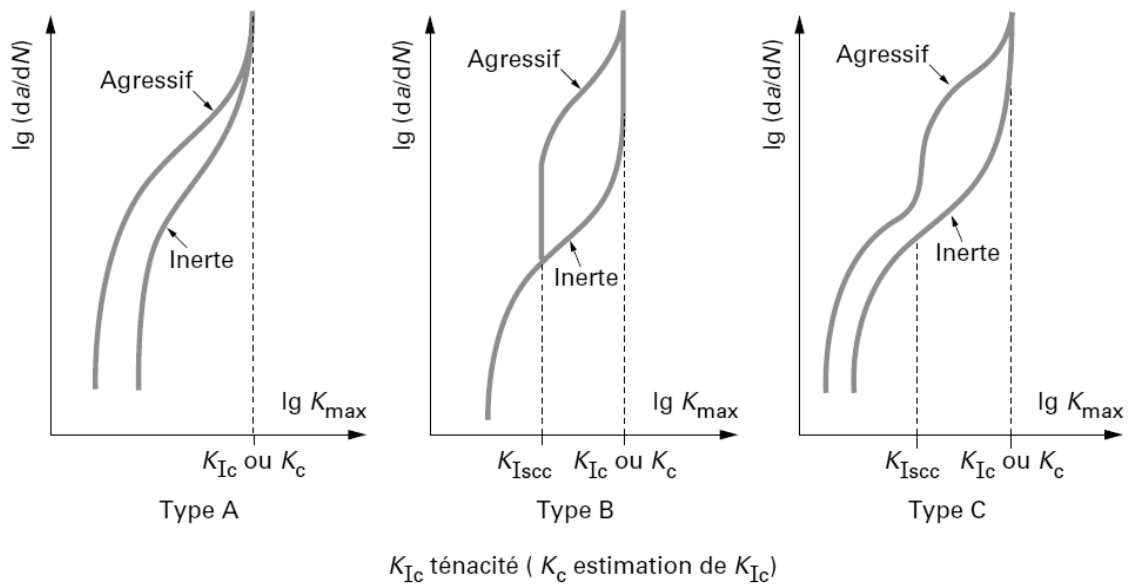


Figure 7 Différents types de comportement en fissuration par fatigue sous corrosion

---

# Chapitre III

## **Effet d'entaille**

---

### 3. Effet d'entaille

#### 3.1. Introduction

De nombreux facteurs influent sur la résistance à la fatigue:

**Paramètres mécaniques:** nature des sollicitations (flexion rotative, flexion plane simple, traction/compression, torsion), forme du cycle (alterné, répété, ondulé) c'est-à-dire essentiellement niveau moyen de sollicitation, état de surface, état de contraintes résiduelles, forme géométrique de l'éprouvette...

**Paramètres métallurgiques:** structure cristalline du matériau, taille de grain, état de précipitation, état d'érouissage, hétérogénéités microstructurales...

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'influence des paramètres mécaniques, et plus précisément l'effet des entailles sur la résistance à la fatigue de l'éprouvette.

#### 3.2. Effet d'une entaille

La plupart des structures sont constituées d'éléments de formes géométriques complexes. Ces entailles mécaniques sont des lieux de concentration de contrainte qui jouent un rôle nocif relativement à la résistance de la structure. Un changement de section dans une pièce, entraîné par la présence d'une entaille, d'un congé, d'un trou, etc., conduit à modifier la distribution uniforme des contraintes et à faire apparaître localement des pointes de concentrations de contraintes.

L'influence des concentrations de contraintes sur la résistance à la fatigue d'un matériau, est étudiée sur des éprouvettes entaillées. Cette concentration de contraintes locale est mesurée à l'aide des coefficients de concentration de contraintes qu'on définira dans la suite de ce chapitre.

#### 3.3. Facteur de concentration de contrainte

Dans une structure, Les entailles telles que les trous, les rainures, les gorges causent une distribution non homogène de contrainte, voire la figure 8, avec une concentration de contrainte à la « racine de l'entaille ». *Le facteur de concentration de contrainte* (théorique)  $K_t$

est désigné souvent sous le nom du facteur de concentration de contrainte théorique. Cependant, le facteur n'est pas théorique. Il est fondé sur l'hypothèse du comportement élastique et linéaire du matériau, est défini comme le rapport entre la contrainte maximale à la racine de l'entaille et de la contrainte nominale qui serait présente si une concentration de contrainte ne se produisait pas :

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$$

$\sigma_n$  : Contrainte nominale

$\sigma_{\max}$  : Contrainte maximale

On devrait souligner que toutes les déformations sont censées être élastiques. Le rapport  $K_t$  est essentiellement un concept élastique. Il donne une indication directe de la sévérité de la concentration de contrainte, parce que c'est un facteur d'amplification au niveau de la contrainte qui est nominale présente dans la section nette de l'entaille.

Parfois il est instructif pour voir le rapport entre la contrainte maximale et la contrainte nominale, (Généralement,  $K_t$  est le facteur utilisé pour indiquer la concentration de contrainte).

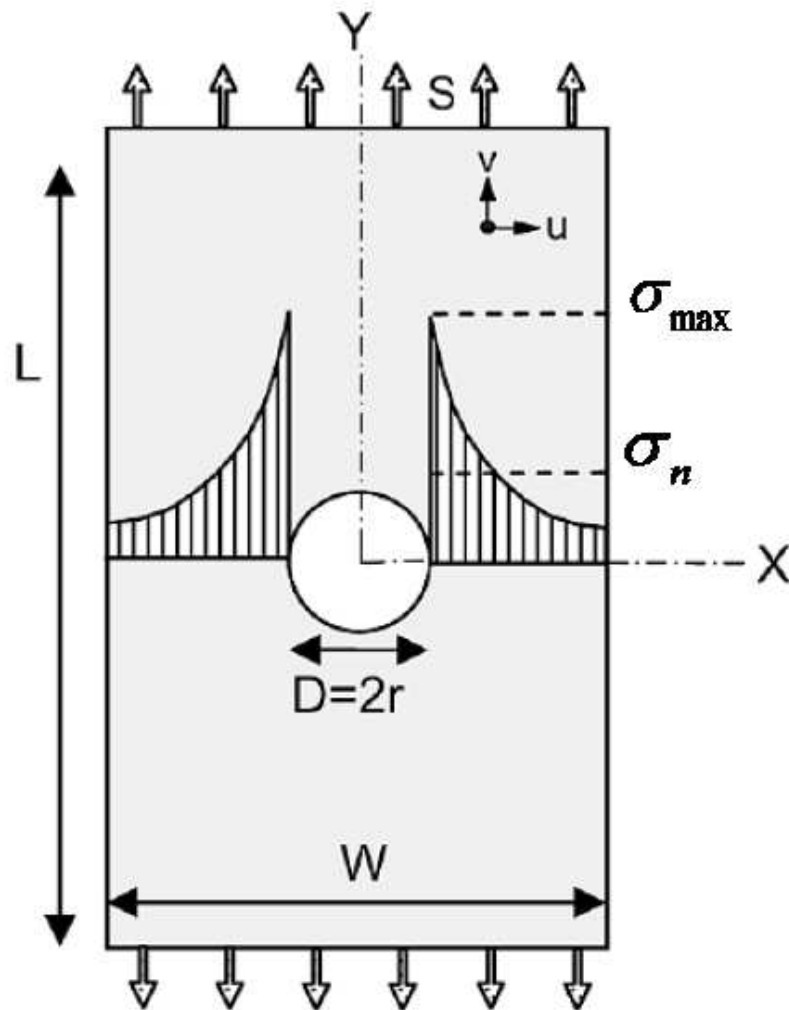


Figure 8 Bande avec un trou central comme prototype d'une plaque entaillée

Les valeurs de  $K_t$  peuvent être obtenues avec différentes méthodes :

- Par des calculs : méthodes analytiques, méthodes des éléments finis,
- Par des mesures : mesures de jauge de contrainte, mesures photo-élastiques

---

# Chapitre IV

## **Conception du Banc d'Essai**

---

## 4. Conception du banc d'essai

### 4.1. Introduction

L'essai de fatigue sous corrosion le plus utilisé consiste à appliquer à une éprouvette plane, un moment de flexion variable ou constant. Dans ce type d'essai, dit flexion alternée, la contrainte nominale est calculée au niveau de la section minimale de l'éprouvette.

Le milieu corrosif est alors appliqué de cette façon :

Toutes les éprouvettes sont immergées dans le milieu corrosif grâce à un bac de corrosion fixe.

La (Figure 9 ci-dessous) illustre la machine de base utilisée pour la conception de notre machine [4].

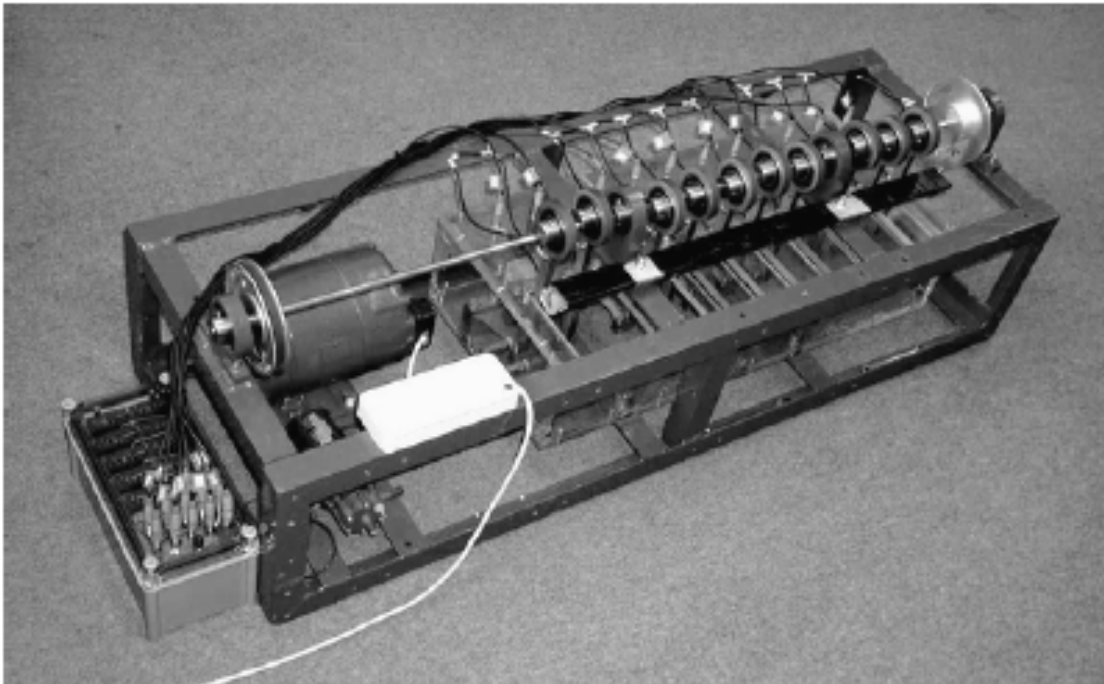


Figure 9 : Machine d'essai pour des tests en fatigue sous corrosion [4]



## **4.2. SolidWorks**

### 4.2.1. Définitions

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

### 4.2.2. 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.

### 4.2.3. 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.

## **4.3. Description du banc d'essai**

Cette machine est composée d'une section carrée supportant le système (1), de deux sous systèmes de transmission de force (bielle-manivelle) (5) entraîné par un arbre de transmission. Deux porte-éprouvettes (8) et (9) permettent de fixer les éprouvettes. La structure (éprouvettes plus manivelle) sont immergées dans un bac (3) qui contient de l'eau de mer.

Le mouvement de rotation est fourni par un moteur électrique (4). Ce dernier est relié à l'arbre de transmission par une courroie (6). (Figure 10 ci-dessous).

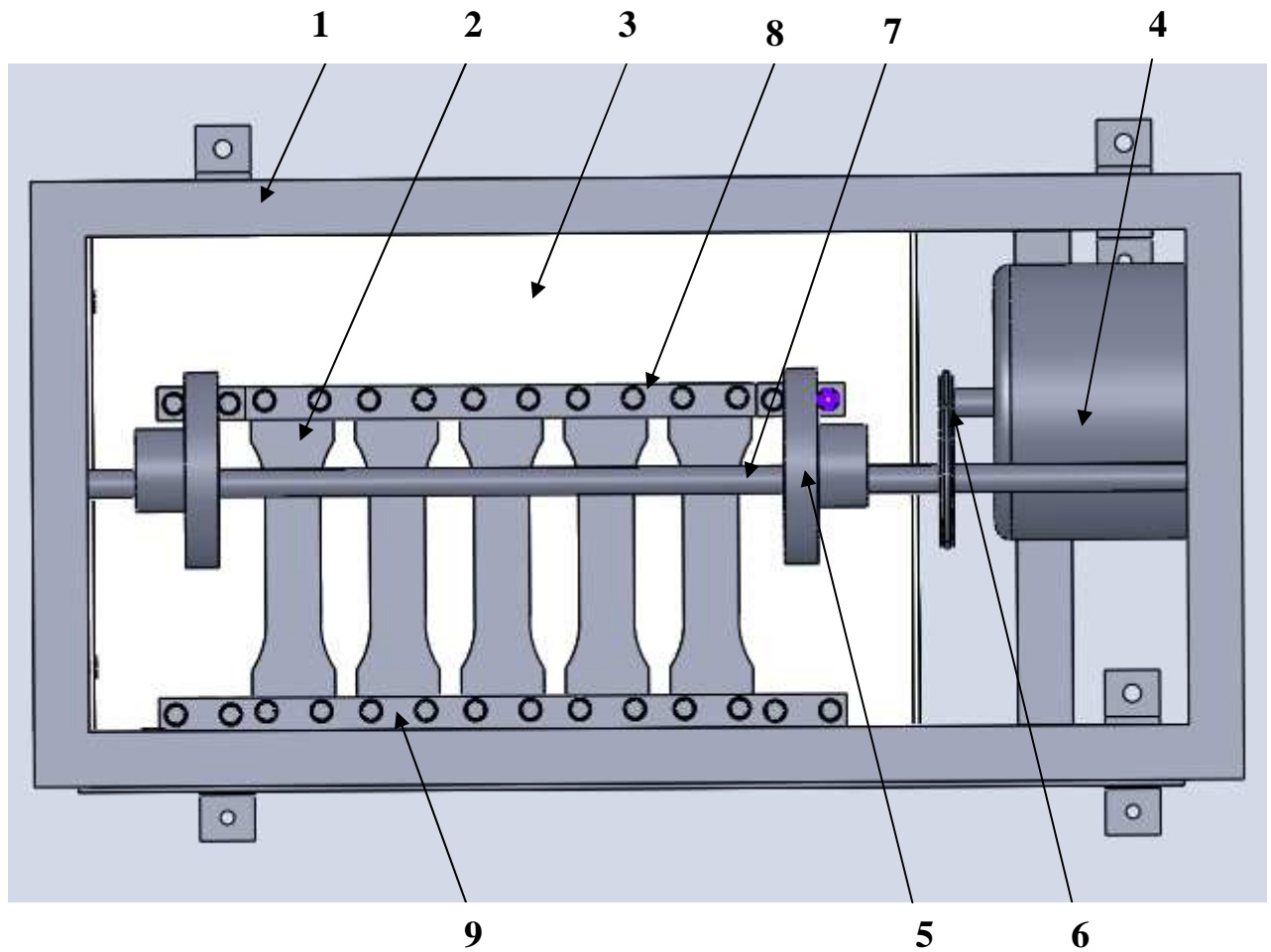


Figure 10 : présentation 2D de la machine simplifié

Désignation:

1. Support (section carrée).
2. Eprouvette.
3. bac.
4. moteur électrique.
5. système de transmission de mouvement.

6. courroie.
7. arbre de transmission.
8. porte éprouvettes libre.
9. porte éprouvettes fixe.

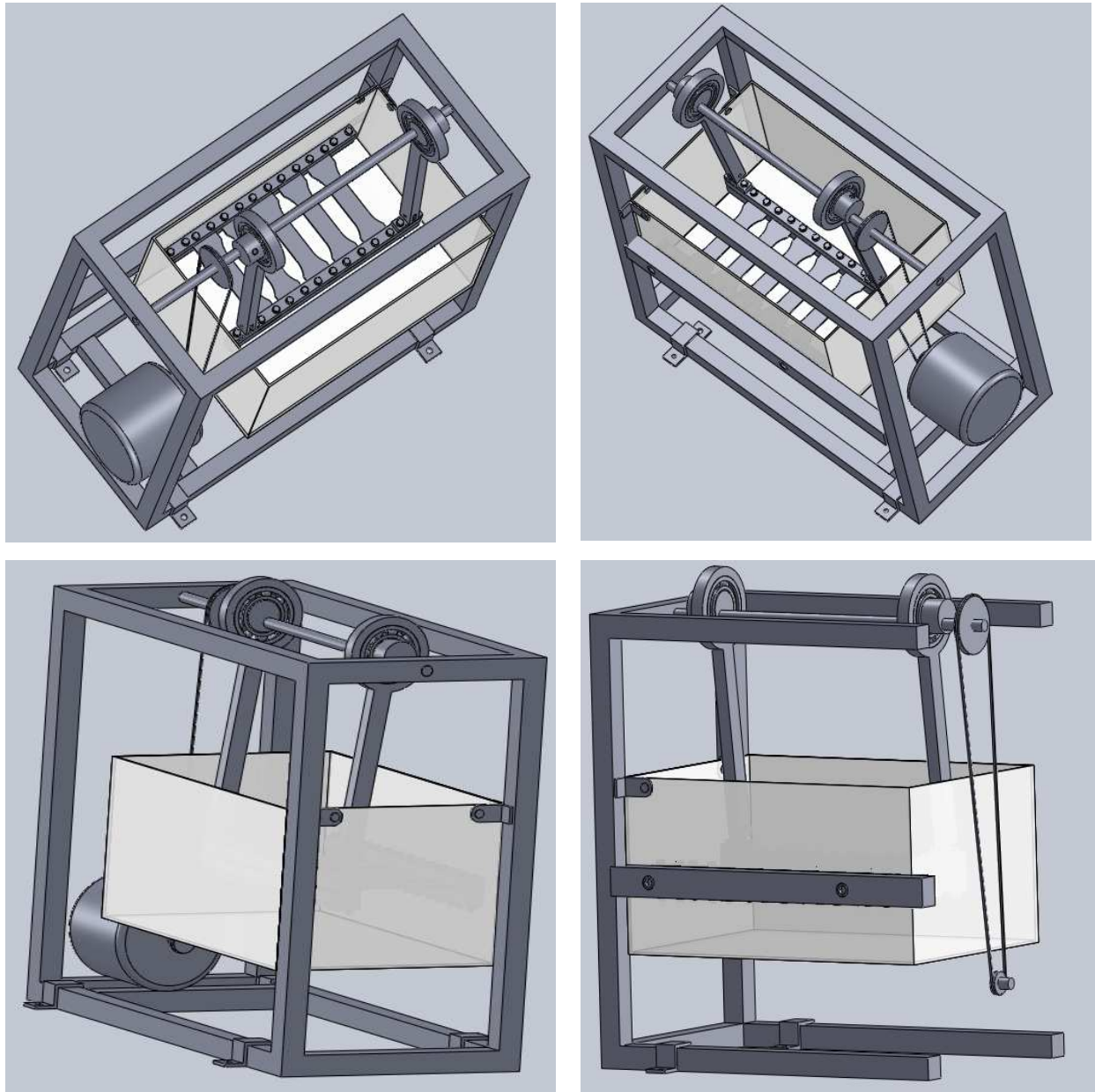


Figure 11 : Représentation 3D de la machine d'essai

#### 4.4. Principe de fonctionnement

La figure 11 ci dessus illustre le principe de fonctionnement du banc d'essais qui s'apparente à celui d'un système bielle-manivelle. Cette dernière a comme fonction de transformer le mouvement circulaire en un mouvement rectiligne animé par un moteur électrique. Le système bielle-manivelle est entrainé par une poulie reliée à un moteur électrique à l'aide d'une courroie. L'élément 9 (porte éprouvettes libre) se relie à la bielle-manivelle avec la pièce en T alors que l'élément 8 (porte éprouvettes fixe) est fixé à l'élément 1(support). Ce système assure une flexion alternée sur les éprouvettes.

#### 4.5. Description du système de transmission de mouvement

##### 4.5.1. Tige de force

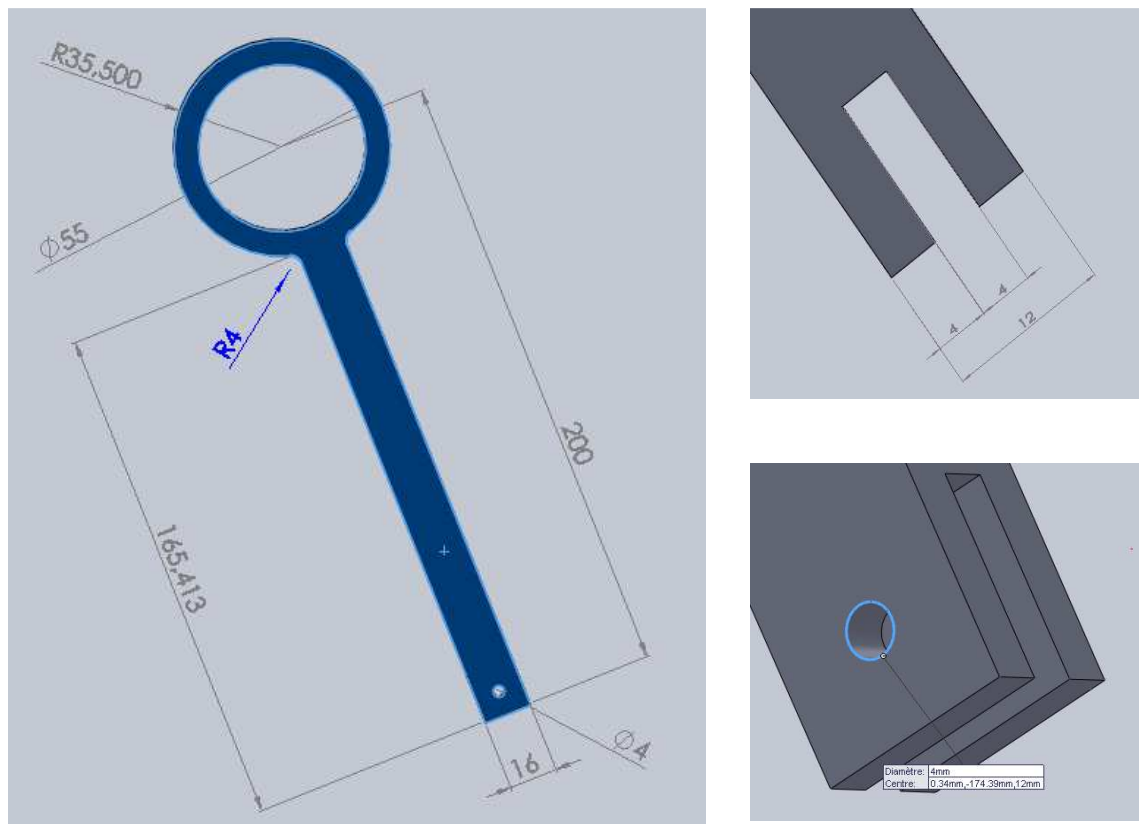


Figure 12 : Représentation 3D des dimensions de la manivelle

Pour faciliter le montage, on doit réaliser les pièces en respectant les dimensions suivantes :

Comme on est limité par l'encombrement sur la machine, donc la longueur totale de la pièce doit être de 235,5 mm et répartie comme suit:

- 4 mm de diamètre de fixation pour la pièce T
- 4mm sur la rainure
- 55 mm de diamètre pour monter la manivelle
- 200 mm pour la longueur de la tige

#### 4.5.2. Pièce en T

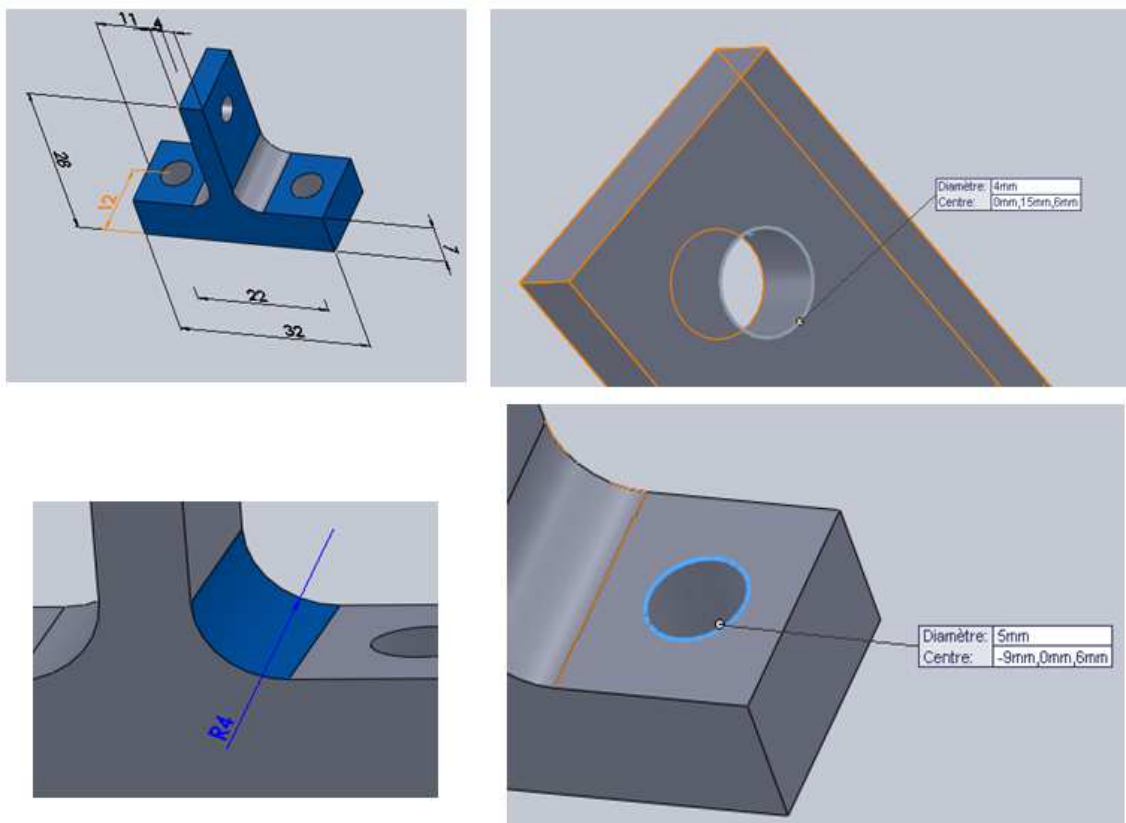


Figure 13 : Représentation 3D des dimensions de la pièce en T

Pour atténuer les problèmes liés aux concentrations de contraintes, on doit réaliser un arrondi entre les deux parties de la pièce en T figure 18.

Les dimensions de la pièce sont données comme suit:

- 4 mm sur le rayon de l'arrondi
- 5 mm de diamètre du perçage pour fixer l'éprouvette
- 4 mm diamètre du perçage pour fixer la manivelle

#### 4.5.3. Pièce excentrique

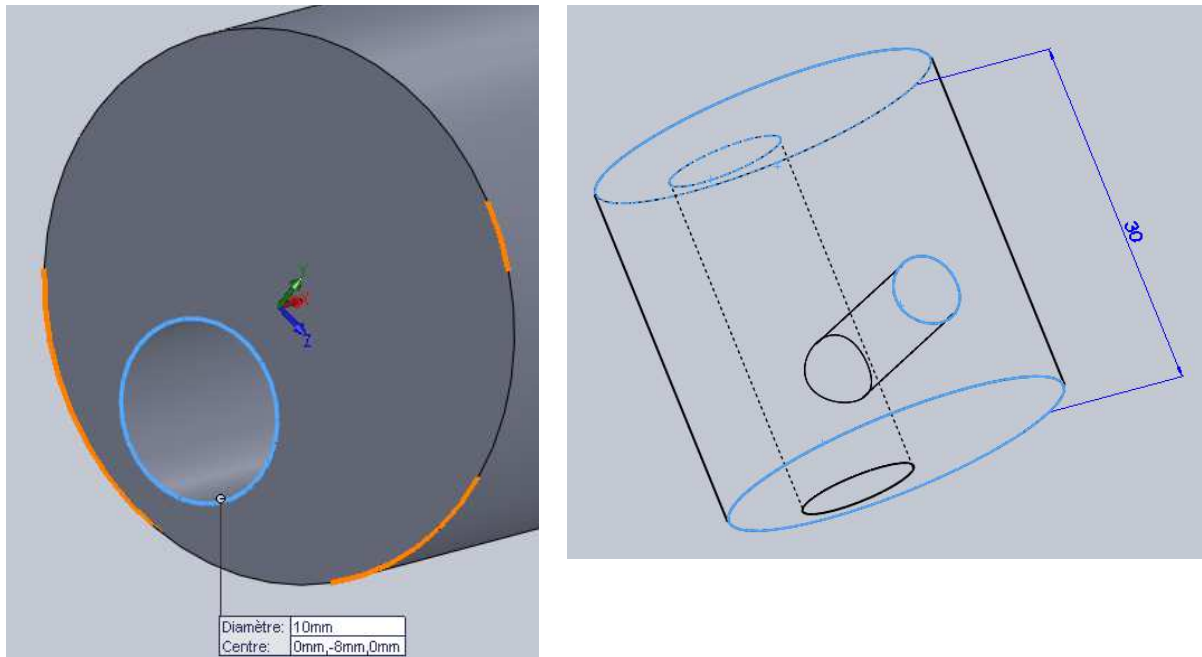


Figure 14 : Représentation 3D des démenions de la bielle

Cette pièce a une forme cylindrique.

Les démenions de la pièce sont reparties comme suit:

- 30 mm de longueur
- 10 mm d'un perçage excentrique

#### 4.6. Assemblage du système de transmission de mouvement

Le système de transmission de mouvement proposé pour l'assemblage est équipé d'une pièce en T (4) , une tige de force (5),une pièce cylindrique excentrique (6) reliait à un arbre de transmission de mouvement (1) ,voir (figure14 et 15).



Figure 15 : Représentation 3D de système de transmission de mouvement

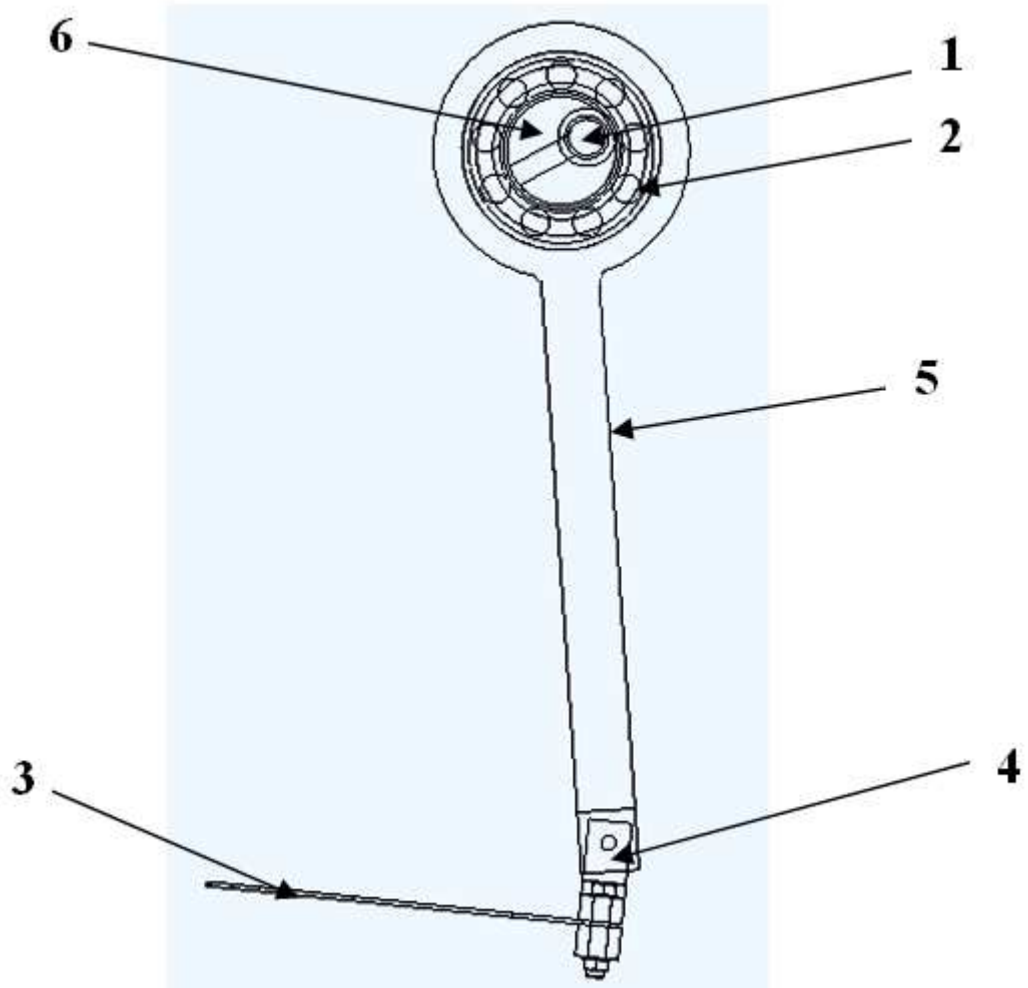


Figure 16 : Représentation 2D de système de transmission de mouvement avec éprouvette

1. arbre de rotation
2. roulement
3. éprouvette
4. pièce en T
5. tige de force (manivelle)
6. pièce excentrique



## 4.7. Répartition des contraintes

### 4.7.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons étudier la répartition des contraintes sur une éprouvette donné et réaliser une simulation numérique par logicielle.

### 4.7.2. L'éprouvette d'essai

#### 4.7.2.1. Propriétés du matériau

Le molybdène est un métal très dur. Il a été souvent confondu avec du minerai de graphite et de fil. Il a un haut module d'élasticité.

Propriété de matériaux à utiliser pour les éprouvettes

Propriété	Valeur	unité
Module d'élasticité	3.2e+011	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson	0.38	S.O.
Module de cisaillement	1.2e+011	N/mm <sup>2</sup>
Masse volumique	10000	kg/m <sup>3</sup>
Résistance à la traction	500000000	N/mm <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	325000000	N/mm <sup>2</sup>

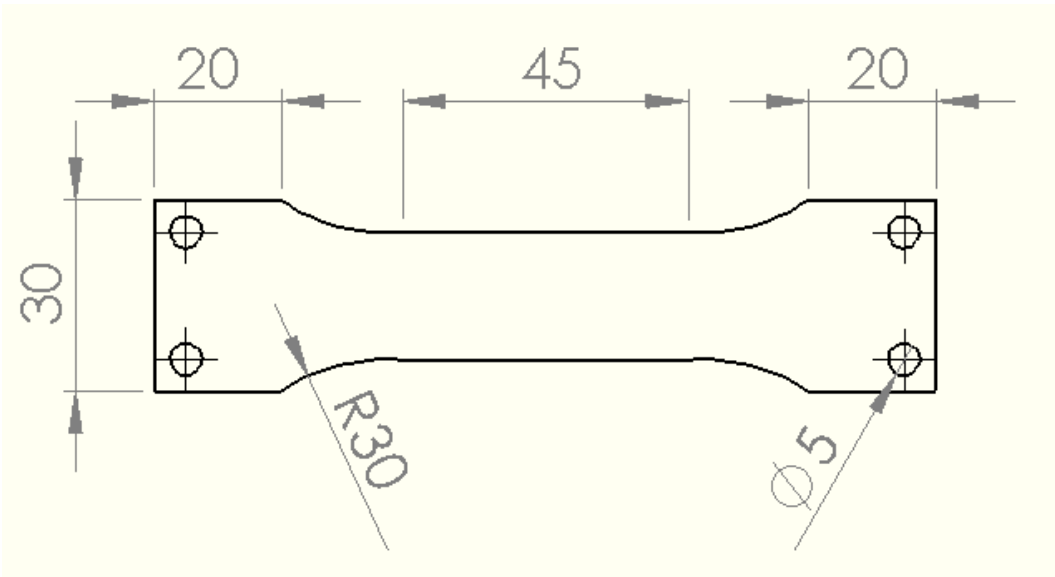


Figure 17 : Représentation 2D d'une éprouvette d'essai lisse

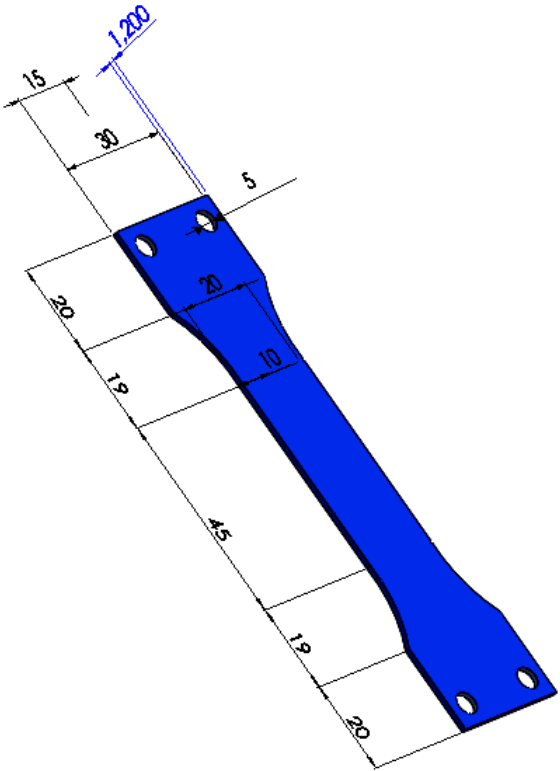


Figure 18 : Représentation 3D d'une éprouvette d'essai lisse

### 4.7.3. Répartition de contrainte

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \frac{H}{2} \quad (1)$$

Or

$$I = \frac{B_0 H^3}{12} \quad (2)$$

$$M_{(x)} = -F(L_0 - x) \quad (3)$$

$$\sigma_{\max} = -\frac{F(L_0 - x)6}{B_0 H^2} \quad (4)$$

$$\frac{d^2 Z}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (5)$$

$$\frac{d^2 Z}{dx^2} = \frac{12F(L_0 - x)}{EB_0 H^3} \quad (6)$$

$$Z(x) = -\frac{2F}{EB_0 H^3} x^3 + \frac{6FL_0}{EB_0 H^3} x^2 + C_1 x + C_2 \quad (7)$$

Les conditions aux limites :

$$\frac{dZ(0)}{dx} = 0 \quad (8)$$

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = 0$$

$$Z(x) = -\frac{2F}{EB_0 H^3} x^3 + \frac{6FL_0}{EB_0 H^3} x^2 \quad (9)$$

$$Z(L_0) = -\frac{2F}{EB_0 H^3} L_0^3 + \frac{6FL_0}{EB_0 H^3} L_0^2 \quad (10)$$

Finalement

$$Z(L_0) = \frac{4F}{EB_0 H^3} L_0^3 \quad (11)$$

$M_{(x)}$  : moment de flexion

$I$  : moment d'inertie

$F$  : chargement

$H$  : épaisseur de l'éprouvette

$L_0$  : longueur de l'éprouvette

$B_0$  : largeur de l'éprouvette

$Z_0$  : la flèche

#### 4.7.4. Application numérique

$$\sigma_{ad} \left\langle \frac{\sigma_e}{F_s} = \frac{325}{1,5} = 217MPa \right.$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{I_x} \frac{h}{2} = \frac{6FL_0}{bh^2} = \frac{6 \times 9 \times 111 \times 10^6}{20 \times 1,2^2} = 208MPa$$

$208MPa < 217MPa \Rightarrow \sigma_{max} < \sigma_{ad}$
--

$\sigma_e$  : Limite élastique

$\sigma_{max}$  : Contrainte maximale

$F_s$  : Coefficient de sécurité

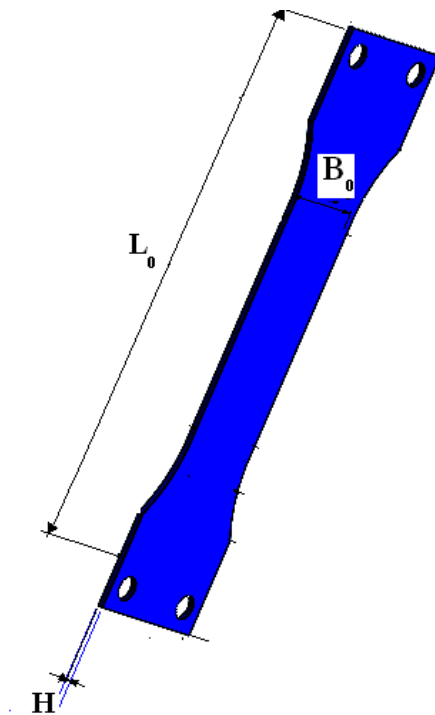


Figure 19 : Représentation 3D d'une éprouvette d'essai lisse

$$H=1,2 \text{ mm}$$

$$B_0 = 20 \text{ mm}$$

$$L_0 = 111 \text{ mm}$$

$$F=9 \text{ N}$$

$$Z(L_0) = \frac{4 * 9 * 111^3 * 10^{-3}}{200 * 20 * 1,2^3}$$

$Z(L_0) = 4,45 \text{ mm}$
----------------------------

## 4.8. Simulation Numérique

### 4.8.1. Résultats

#### 4.8.1.1. Contraintes

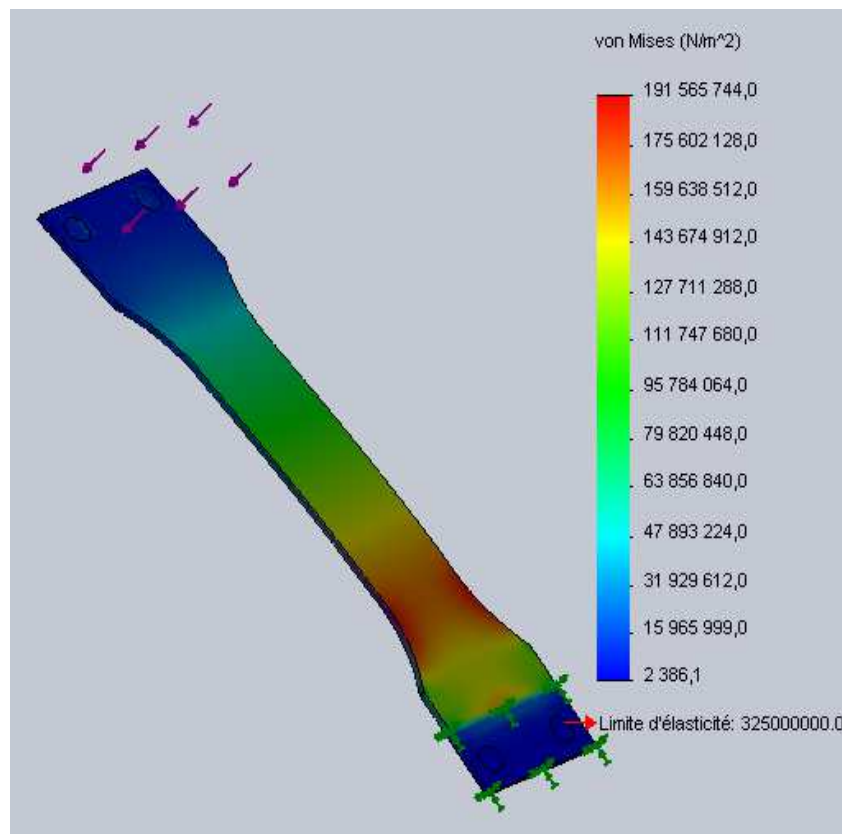


Figure 20 : Résultats de dimensionnements donnés par simulation numérique

#### 4.8.1.2. Déplacements

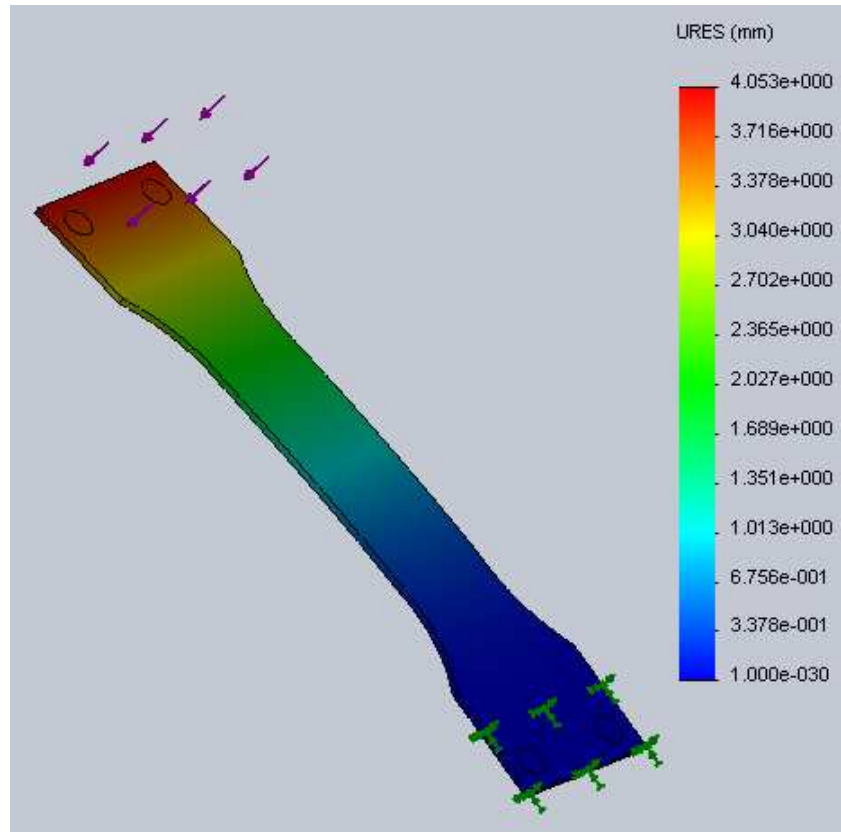


Figure 21 : Résultats de dimensionnements donnés par simulation numérique

### 4.9. Les caractéristique du banc d'essai

#### 4.9.1. Caractéristique du moteur électrique

##### 4.9.1.1. Le couple moteur

La poulie fixée sur l'arbre a un diamètre de 50mm et celle reliée au moteur électrique a un diamètre de 20mm.

$$C_2 = F \times b \quad (12)$$

$$C_1 = \frac{r_2}{r_1} C_2 \quad (13)$$

$$C = \frac{r_1}{r_0} C_1 \quad (14)$$

C : couple de moteur électrique

Rapport de réduction

$$\rho_0 = \frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{r_0}{r_1} \quad (15)$$

$$\rho_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (16)$$

$$\rho = \rho_0 \times \rho_1 \quad (17)$$

$\rho$  : rapport de réduction de banc

Application numérique :

$$F_t = 5 \times 9 = 45 \text{ N}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$r_0 = 10 \text{ mm}$$

$$r_1 = 25 \text{ mm}$$

$$r_2 = 5 \text{ mm}$$

$$f = 25 \text{ HZ}$$

$r_0$  : rayon de la polie fixer sur le moteur

$r_1$  : rayon de la polie fixer sur l'arbre de transmission

$r_2$  : rayon de l'arbre de transmission

f : fréquence de moteur électrique

b : bras de levier de système de transmission de mouvement

$F_t$  : chargement appliquer sur toute le système



$$C_2 = 45 \times 0,22 = 9,9 N.m$$

$$C_1 = \frac{5}{45} \times 9,9 = 1,1 N.m$$

$$C = \frac{45}{10} \times 1,1 = 5 N.m$$

$$\rho_0 = \frac{10}{25} = 0,4$$

$$\rho_1 = \frac{5}{25} = 0,2$$

$$\rho = 0,4 \times 0,2 = 0,8$$

#### 4.9.1.2. Puissance du moteur

$$P_n = 2\pi \times f \times C$$

$$P_n = 2\pi \times 25 \times 5 = 785 W$$

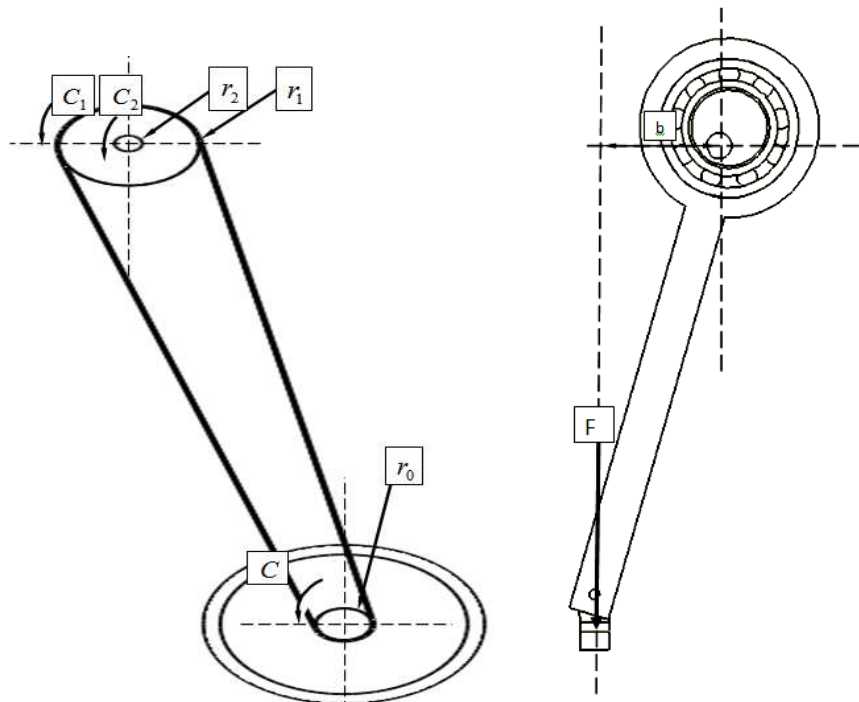


Figure 22 : paramètres de système de transmission de mouvement

---

# Conclusion Générale

---

## 5. Conclusion générale

Les essais de fatigue sont d'une grande importance dans la détermination des caractéristiques mécaniques des métaux. Une machine a été conçue pour effectuer des essais de fatigue sous corrosion permettant de faire des essais sur cinq éprouvettes simultanément.

Après avoir finalisé la conception de toutes les pièces de la machine, nous avons procédé à l'assemblage (montage). Nous avons fait un choix de conception qui nous a permis de simplifier la machine de base. A savoir l'utilisation de deux systèmes de transmission de mouvement (bielle manivelles).

Cette simplification permet de réduire les coûts et de gagner du temps en conception et en réalisation.

Cette machine est peu encombrante et légère. L'inconvénient est que les pièces et les éléments de fixation de celles-ci restent immergés dans la solution pendant les essais.

---

## 6. Bibliographie

- [1] A.Tcharkhtchi, "Approche cinétique du comportement en fatigue du Polyamide 66 renforcé par 30% de fibres de verre", thèse de doctorat, ParisThech, 2010.
- [2] Henri-Paul, "Essais de fatigue sous corrosion", Technique de l'ingénieur M127, Février 1996.
- [3] Joseph Lee Evins, "Dependence of strength on corrosion –fatigue resistance", propriétés et application, Dunod, 2004
- [4] K Berchem and M G Hocking, " A simple plane bending fatigue and corrosion fatigue testing machine", Mesurment Sience and TechnologieMeas. Sci. Technol. 17 N60–N66, September 2006.
- [5] M.Aldarwish, " Corrosion Fatigue of AZ91C Magnesium Alloy in Aqueous Solutions", EuroJournals Publishing, ISSN 1450-216X Vol.42 No.1, pp.164-171, 2010.
- [6] Martin Pelletier, ing. jr. " Banc d'essais à déplacement contrôlé pour des tests en fatigue de structures mécaniques en aluminium".Sherbrooke, Québec, Canada, No. 2003-R48, Mars 2003.
- [7] M. Ndiaye, S. Gaye, "Propagation de Fissuration en Fatigue par Chocs", Journal des Sciences, M. Ndiaye et al / J. Sci.Vol. 6, N°1,2006.
- [8] Shixiang MA, " Propagation de fissure en mode mixte dans un milieu élasto-plastique avec prise en compte des contraintes résiduelles", thèse de doctorat Université Blaise Pascal, N° d'ordre : 1556, Janvier 2005
- [9] Pirrani, P.Samalv, "Fatigue Life Estimation of PRE-Corroded Aluminium Alloy Specimen", thesis Bachelor of Technology,National Institute of Technology, Rourkela,India.