

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du Diplôme

Master en Génie Mécanique

Option : Mécanique des solides

Thème

**SIMULATION DE LA FATIGUE EN FLEXION PLANE
D'EPROUVETTES ENTAILLEES EN UTILISANT
SOLIDWORKS ET ANSYS : ETUDE COMPARATIVE**

Proposé et Dirigé par :

Mr. GUERGUEB Brahim

Réalise par :

MANSOURI Abdelatif

Promotion : Octobre 2014

10, Avenue des frères Ouddek, Hassen Badi, BP182 El-Harrach, 16200 Alger (Algérie)
Tel : 213 21 52 53 01/03 – Fax : 213 21 52 29 73 www.enp.edu.dz

ملخص:

يهدف هذا المشروع بدراسة ظاهرة التعب الميكانيكي وإبراز تأثير المسافة بين الخدش على مدة الاستعمال من أجل هذا قمنا بمحاكاة الظاهرة بواسطة البرنامجين *ansys* و *solid works* على مجموعة من العينات ثم المقارنة مع نتائج النموذج التجريبي .

كلمات مفتاحية: التعب الميكانيكي ، محاكاة، الخدش.

Résumé:

Ce projet vise à étudier le phénomène de fatigue en flexion plane pour mettre en évidence l'influence de la distance entre des entailles parallèles sur la durée de vie. La simulation numérique a été faite en utilisant les logiciels ANSYS et SOLIDWORKS. Les résultats obtenus sont confrontés à ceux obtenus expérimentalement en utilisant une machine de fatigue en flexion plane.

Mots clés : Simulation, Fatigue, Entaille, SolidWorks, ANSYS.

Abstract:

The aim of this research is to study is to the phenomenon of bending fatigue and highlight the influence of the distance between parallel cuts on lifetime. The numerical simulation was done using ANSYS and SOLIDWORKS software. The results are compared to those obtained experimentally using a plane bending fatigue machine.

Keywords: Simulation, Fatigue, *cuts*, SolidWorks, Ansys.

Remerciements:

Je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce travail.

Le présent mémoire a été dirigé Mr. Brahim GUERGUEB. C'est grâce à ses remarques, conseils et soutien que j'ai pu le finaliser. Je lui exprime mes gratitudes, mes reconnaissances et mes sincères remerciements.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont apporté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie particulièrement mes enseignants du département de génie mécanique pour leurs contributions, leurs précieux conseils durant ma formation.

Merci aussi à tous mes collègues et amis de longue date des deux laboratoires qui se reconnaîtront ici. Je leur exprime ma profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.

Sommaire

<i>Introduction Générale</i>	6
CHAPITRE 1 :NOTIONS ET DEFINITION	7
<i>Introduction:</i>	8
<i>1.1 Mise en évidence du phénomène de fatigue:</i>	8
<i>1.1. L'endommagement par fatigue comprend trois périodes</i>	8
<i>1.2. L'essai de fatigue</i>	8
<i>1.2.1. Symbolisation et terme utilisé en fatigue</i>	8
<i>1.2.1.1.2.1. Termes et symboles utilisés pour décrire le cycle de contrainte</i>	9
<i>1.2.1.1.2.2. Types de cycles de contrainte :</i>	9
<i>1.2.2. Termes et symboles relatif aux essais de fatigue :</i>	9
<i>1.2.3. Classification des sollicitations des essais de fatigue :</i>	10
<i>1.2.5. Diagrammes représentatifs :</i>	10
<i>1.3. Effet d'entaille :</i>	11
<i>1.3.2. Coefficient de réduction de la résistance en fatigue k_f (fatigue notch factor):</i>	11
<i>1.3.3. Coefficient de sensibilité à l'entaille q</i>	12
<i>1.4. Conclusion</i>	13
CHAPITRE 2 : LA SIMULATION	14
2.1. Simulation sous solidworks	15
<i>2.1.1. But de simulation:</i>	15
<i>2.1.2. Présentation de SolidWorks simulation:</i>	15
<i>2.1.3. Définition de l'essai :</i>	15
<i>2.1.3.2. Calcul :</i>	15
<i>2.1.3.3. Paramètres géométriques</i>	15
<i>2.1.4. Méthodes numériques : aspects généraux</i>	16
<i>2.1.5. Démarche :</i>	16
<i>2.1.6. Géométrie :</i>	16
<i>2.3.3. Dimensionnement de l'éprouvette :</i>	17
<i>2.1.7. Données du matériau</i>	17
<i>2.1.8. Condition aux limites</i>	17
<i>2.1.8.1. Déplacement :</i>	17
<i>2.1.8.2. Chargement :</i>	18
<i>2.1.9. Simulation</i>	18
<i>2.1.9.1. Maillage :</i>	19
<i>2.1.9.2. Analyse de fatigue :</i>	20
<i>2.1.10. Résultats</i>	20
<i>2.1.11. Récapitulatif des résultats précédents</i>	22
<i>2.1.12. Observations et interprétations</i>	22
2.2. Simulation sous ansys:	23
<i>2.2.1. But de simulation:</i>	23
<i>2.2.2. Présentation d'ANSYS Workbench :</i>	23
<i>2.2.3. Définition de l'essai</i>	23
<i>2.2.3.2. Calcul :</i>	23

2.2.3.3. Paramètres géométriques	24
2.2.4. Condition aux limites	24
2.2.4.1. Déplacement :	24
2.2.4.2. Chargement :	25
2.2.5. Simulation	25
2.2.6. Résultats	26
2.2.7. Récapitulatif des résultats précédents	28
2.2.8. Observations et interprétations	28
2.2.9. Observations et interprétations	29
2.3. Conclusion	30
Références Bibliographiques:	31

LISTE DES FIGURES

Fig1.1.courbe de Wöhler.....	10
Fig1-2 : Effet d'entaille.....	11
Fig. 1.3 : Effet d'entaille sur le comportement en fatigue en flexion rotative [4].....	12
Fig.2.1.éprouvette avec deux entailles traversantes.....	16
Fig. 2.2 : vu en coupe de l'éprouvette entaillée.....	16
Fig.2.3.Configuration d'encastrement.....	17
Fig.2.4.Configuration de chargement.....	18
Fig.2.5. Configuration de l'éprouvette.....	18
Fig.2.6. Configuration de l'éprouvette.....	19
Fig.2.7. Nombre de cycles à la rupture.....	19
Fig.2.8. Nombre de cycles à la rupture.....	20
Fig.2.9. Nombre de cycles à la rupture.....	20
Fig.2.10. Nombre de cycles à la rupture.....	21
Fig.2.11. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes Avec simulation solidworks.....	21
Fig 2.12.Présentation de Ansys Workbench.....	22
Fig.2.13.Configuration d'encastrement.....	23
Fig.2.14.Configuration de chargement.....	24
Fig.2.15. Configuration de l'éprouvette.....	25
Fig.2.16. Nombre de cycles à la rupture.....	25
Fig.2.17. Nombre de cycles à la rupture.....	26
Fig.2.18. Nombre de cycles à la rupture.....	26
Fig.2.19. Nombre de cycles à la rupture.....	27
Fig.2.20. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes Avec simulation ansys	28
Fig.2.21. Comparaison de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles Traversantes entre solid works et ansys	29
Fig.2.22. Comparaison de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles Traversantes.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Le tableau 2.1. Données du matériau.....	17
Tableau 2.2. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes...	22
Tableau 2.3. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes...	28

NOMENCLATURE :

d	Profondeur en fond d'entaille
ε	Déformation nominale
E	Module de Young
k_{σ}	Coefficient de concentration de contrainte en régime élasto-plastique
k_f	Coefficient de réduction de la résistance en fatigue
k_n	Facteur d'intensité de contrainte normalisé
k_t	Facteur de concentration de contrainte
R	Rapport de contrainte (min/max)
q	Facteur de sensibilité à l'effet d'entaille
K	Facteur d'intensité de contrainte d'une fissure
σ	Contrainte locale
σ_a	Amplitude de contrainte
σ_{ar}	Amplitude de contrainte à R = -1
σ_m	Contrainte moyenne
σ_{max}	Contrainte nominale maximale
σ_{min}	Contrainte nominale minimale
σ_D	Limite d'endurance d'une éprouvette avec bord lisse
σ_D^E	Limite d'endurance d'une pièce entaillée
σ_x	Contrainte locale dans la direction x
σ_y	Contrainte locale dans la direction y
N	Coefficient de consolidation plastique
N_e	Nombre de cycles à la limite d'endurance
N_r	Nombre de cycles jusqu'à la rupture finale
Re	Contrainte d'écoulement
R_m	Résistance à la traction

Introduction Générale:

La fatigue est un processus endommageant et concerne des structures métalliques soumises à des sollicitations cycliques. La fatigue est respectivement qualifiée « d'oligocyclique » ou « de polycyclique » si le chargement produisant la rupture est appliqué durant un petit ou un grand nombre de cycles. A son tour, la « fatigue polycyclique » se divise en deux domaines : « endurance limitée » où l'on parle du régime fini de durée de vie et « endurance illimitée » où la structure peut supporter un nombre de cycles théoriquement infini sans qu'elle ne casse. La vérification traditionnelle de la tenue en fatigue des structures métalliques travaillant à grand nombre de cycles se faisait dans le domaine de l'endurance illimitée où le constructeur se contentait d'assurer la tenue de sa pièce à un « très » grand nombre de cycles fixé. Dans un contexte de forte compétition économique, les exigences croissantes des industriels pour l'optimisation de leurs structures rendent cette démarche insuffisante. En effet, les industriels ont pour objectif d'optimiser leurs structures au plus juste ; ils ne veulent plus les dimensionner au-delà de ce qui est strictement nécessaire et inscrit au cahier des charges. Devant cette nécessité compétitive, ils se sont orientés vers l'étude du domaine de l'endurance limitée. Ce domaine qui intéressait peu de chercheurs, constitue actuellement un axe important de leurs recherches devant la forte demande industrielle.

D'autre part, les composants mécaniques sont généralement de nature complexe subissant des chargements complexes. Les industriels recherchent un modèle de prédiction de durée de vie de leurs composants, qui est d'utilisation simple, d'une grande applicabilité sur les matériaux métalliques et qui traite presque tous les cas de charges possibles.

Dans ce mémoire, le but est de trouver une relation entre la durée de vie et la distance entre deux entailles parallèles pour des essais de fatigue en flexion plane en utilisant les logiciels Solidworks et Ansys.

*CHAPITRE 1 :
NOTIONS ET DEFINITION*

Introduction:

Le terme de fatigue désigne le processus d'endommagement et de rupture des matériaux sous charges cyclique.

Parmi les causes qui abrègent la durée de service des machines et des constructions, la fatigue est incontestablement la plus redoutable. Alors que l'usure, la corrosion, le fluage produisent une altération progressive qui atteignant un certain degré oblige à retirer du service certaines pièces ou élément, la fatigue entraîne la rupture brutale et parfois la destruction complète de l'ensemble.

1. Concepts généraux sur la fatigue

1.1 Types de fatigue:

- la fatigue mécanique
- la fatigue thermique
- La fatigue –fluage
- La fatigue thermomécanique
- la fatigue sous– corrosion

1.1. L'endommagement par fatigue comprend trois périodes

1-période de germination ou période d'amorçage

Ou voisinage des défauts, les concentrations de contraintes créent des microdéformations plastiques cycliques.

2-période de propagation

3-rupture brutale

1.2. L'essai de fatigue

Réaliser des essais sur des éprouvettes et sur les pièces elles même dans des conditions aussi voisines que possible des conditions d'utilisation.

1.2.1. Symbolisation et terme utilisé en fatigue

1.2.1.1. Les contraintes appliquées

- les efforts appliqués peuvent être des sollicitations de type simple ou combiné
- les contraintes varieront suivant une fonction du temps généralement sinusoïdale

1.2.1.1.1. Contrainte nominale

La contrainte prise en compte au cours de l'essai de fatigue est une contrainte nominale

1.2.1.1.2. Cycle de contrainte

C'est la plus petite partie de la fonction contrainte –temps qui se répète périodiquement.

❖ 1.2.1.1.2.1. Termes et symboles utilisés pour décrire le cycle de contrainte

Contrainte maximale ($\sigma_{\max}, \tau_{\max}$) : valeur maximale algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte

Contrainte minimale ($\sigma_{\min}, \tau_{\min}$) : valeur minimale algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte

Contrainte moyenne (σ_m, τ_m) : définie par la valeur algébrique : $\sigma_m = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max})/2$

Amplitude de contraintes (σ_a, τ_a) : Définie par la valeur algébrique : $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$

Rapport de contrainte ($R\sigma$) : défini par le rapport algébrique :

$R\sigma = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ On utilise également le symbole R_s

Étendue de variation de la contrainte: ($2\sigma_a$ ou $2\tau_a$): différence algébrique entre la contrainte maximale et la contrainte minimale du cycle de contrainte : $2\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ [1]

1.2.1.1.2.2. Types de cycles de contrainte :

Contrainte purement alternée : contrainte qui varie entre des valeurs égales dans le sens positif et négatif. (Pour ce cycle de contrainte : τ_m ou $\sigma_m=0$).

Contrainte alternée : contrainte qui évolue entre une valeur maximale positive et une valeur minimale négative dont les valeurs absolues sont différentes (pour cycle de contrainte: $0 < \sigma_m < \sigma_a$ ou $0 < \tau_m < \tau_a$).

Contrainte répétée : contrainte qui varie entre la valeur 0 et une valeur maximale positive ou entre 0 et une valeur maximale négative (pour ce cycle de contrainte : $\sigma_m = \sigma_a$ ou $\tau_m = \tau_a$)

Contrainte ondulée : contrainte qui varie entre les valeurs maximales et minimales qui sont de même signe. ($\sigma_m > \sigma_a$ ou $\tau_m > \tau_a$). [1]

1.2.2. Termes et symboles relatif aux essais de fatigue :

1.2.2.1 Limite de fatigue :

C'est pour une contrainte moyenne donnée, la plus grande amplitude de contrainte pour laquelle il n'est pas observé de rupture

1.2.2.2. Limite d'endurance :

L'amplitude de contrainte pour laquelle il est constaté 50% de rupture pour un nombre fini N de cycle

1.2.2.3. Rapport d'endurance :

$$R = \sigma D(N) \setminus R_m$$

1.2.2.4. Durée de vie ou endurance :

Le nombre de cycles de contrainte N nécessaire pour que l'éprouvette ou la pièce se rompe

1.2.3. Classification des sollicitations des essais de fatigue :

1.2.3.1. Essais sous amplitude constante :

Les sollicitations de fatigue résultent d'efforts combinés

- Premier cas : sollicitations aux efforts statiques et aux efforts variables de même nature et de même direction.
- Deuxième cas : sollicitations aux efforts statiques et aux efforts variables de nature différente,
- Troisième cas : sollicitations aux efforts combinés variables de nature différente. [6]

Dans notre étude, la simulation est faite pour des amplitudes constantes

1.2.4. Classification des modes de sollicitation :

On peut classer pratiquement les sollicitations cycliques selon la nature des efforts

- ▶ Les essais de flexion plane
- ▶ Les essais de flexion rotative
- ▶ Les essais sous efforts axiaux, traction ou compression
- ▶ Les essais de torsion
- ▶ Les essais sous contraintes combinés, statiques et dynamiques, torsion et flexion

Pour notre étude, la sollicitation concerne la fatigue en flexion plane.

1.2.5. Diagrammes représentatifs :

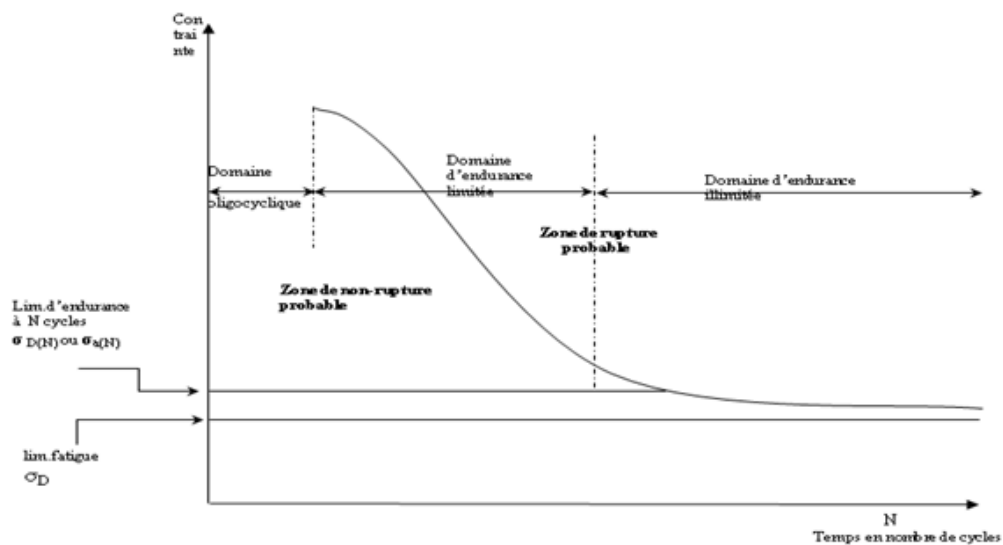


Fig1.1.courbe de Wöhler

La figure ci-dessus est connue sous le nom de courbe de Wöhler ou courbe S-N. Elle permet de trouver la limite de fatigue.

2. Effet d'entaille :

Le terme entaille définit une discontinuité imposée ou accidentelle de la pièce. Les entailles peuvent avoir trois types de cause:

- métallurgiques,
- mécaniques,
- de service (naissance au cours de l'utilisation).

Ces discontinuités provoquent la modification du champ de contrainte. (Figure 1.2). L'effet d'une discontinuité géométrique dans un élément de structure chargé est d'intensifier la valeur de la contrainte en fond d'entaille.

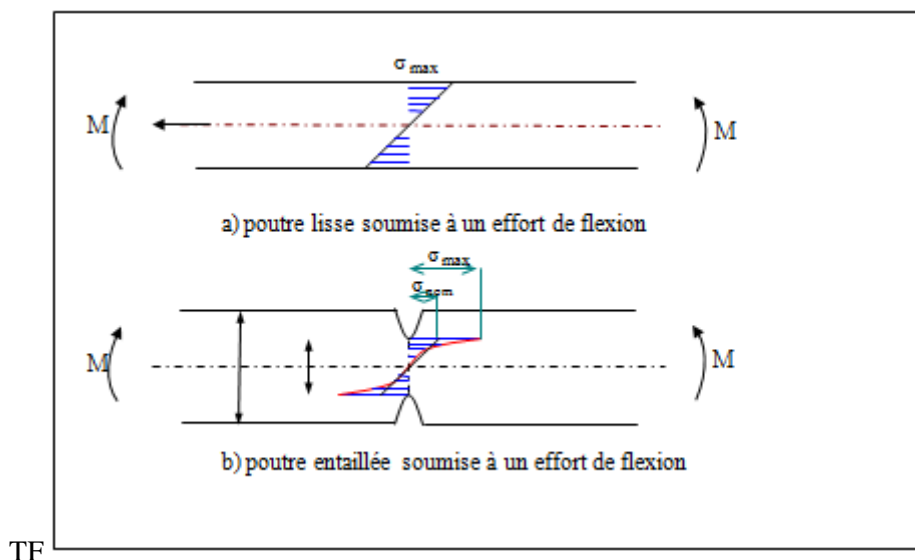


Fig 1-2 : Effet d'entaille

2.2. Coefficient de réduction de la résistance en fatigue k_f (fatigue notch factor):

Le coefficient de réduction de la résistance en fatigue est défini comme le rapport entre la limite d'endurance d'un échantillon lisse et celle d'un échantillon entaillé [2].

$$k_f = \frac{\sigma_D}{\sigma_D^E}$$

Les deux résistances en fatigue sont considérées pour une même durée de vie et pour le même rapport de contrainte R . L'expérience montre que le coefficient de réduction de résistance k_f est moins élevé que k_t notamment pour les entailles sévères et pour les matériaux à faible résistance [3].

La figure(1.3) montre l'effet d'entaille obtenu sur la courbe S-N d'un alliage 2024-T4 avec une éprouvette présentant un rayon en fond d'entaille de 0,25 mm et soumise à la flexion rotative. La courbe en pointillés longs représente la diminution de la résistance en fatigue d'une éprouvette entaillée, basée sur le facteur k_t . La courbe en pointillés courts représente la vraie réduction de la résistance en fatigue qui définit le facteur k_f

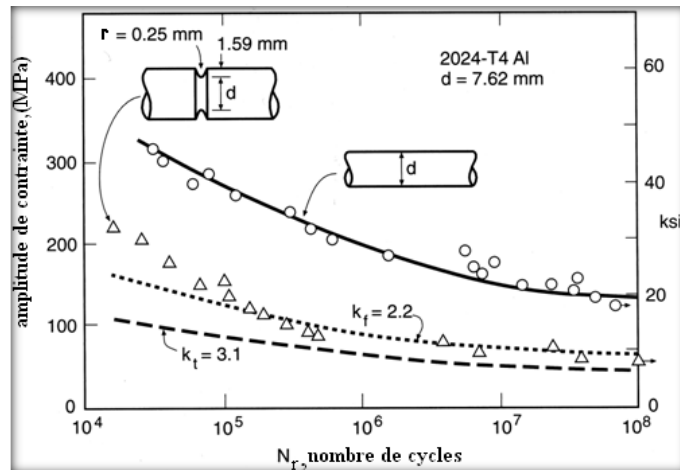


Fig. 1.3 : Effet d'entaille sur le comportement en fatigue en flexion rotative [4]

La valeur du facteur k_f dépend de plusieurs paramètres:

- Les propriétés mécaniques du matériau.
- le type de chargement.
- la grandeur et la géométrie de la pièce.
- la durée de vie de la pièce (en nombre de cycles).
- la présence de défauts.

2.3. Coefficient de sensibilité à l'entaille q

Pour le dimensionnement des pièces en fatigue, les bureaux d'études utilisent le concept de coefficient de sensibilité à l'entaille. Celui-ci est défini par la formule suivante:

$$q = \frac{k_f - 1}{k_t - 1}$$

Les pièces étant dimensionnées pour une résistance illimitée en fatigue conduit à associer à cette définition k_f et la limite d'endurance. Dans la littérature, des modèles anciens permettent de relier le rayon d'entaille, une caractéristique du matériau et le facteur de réduction en fatigue. Certains de ces modèles prennent en compte le gradient de contrainte induit à la fois par le mode de chargement et l'effet d'entaille.

La valeur du facteur q varie entre 0 et 1. S'il n'y a pas de sensibilité à l'effet d'entaille, sa valeur est 0 et $k_f = 1$. Si $q=1$, alors $k_f = k_t$. Les matériaux ductiles sont en général des métaux peu sensibles à l'effet d'entaille. Une déformation plastique en fond d'entaille permet de diminuer l'amplitude de contrainte locale. Les matériaux plus durs ne permettent pas cette plasticité en fond d'entaille. Selon (Schijve, 1980), la sensibilité à l'effet d'entaille dépend aussi du gradient de contrainte en fond d'entaille. [5]

Conclusion

Le problème de la fatigue est un problème important. Il a fait, depuis longtemps l'objet de plusieurs recherches et publications .

Dans ce chapitre, nous avons vu des généralités sur le phénomène de la fatigue. A partir de cette recherche bibliographique, les entailles sont prises comme paramètre d'étude en fatigue.

*CHAPITRE 2 :
LA SIMULATION*

2.1. Simulation sous solidworks

Toutes les structures présentent des variations plus ou moins brutales de géométrie qui génèrent des concentrations de contraintes. Le champ des contraintes/déformations au voisinage de ces discontinuités conditionne la durée de vie en fatigue de toute la structure.

2.1.1. But de simulation:

L'objectif de cette expérience est de simuler le chargement en fatigue en flexion plane sur des éprouvettes en acier au carbone à double entailles parallèles à en faisant varier la distance entre entailles dans le but d'étudier leur effet sur la durée de vie en fatigue en utilisant le logiciel Solidworks.

2.1.2. Présentation de SolidWorks simulation:

SolidWorks Simulation est un logiciel de calcul par éléments finis intégré à SolidWorks. Il utilise les fichiers pièces et assemblages auxquels il intègre des études dans chacune desquelles sont définis les matériaux, les chargements, les conditions aux limites ainsi que les paramètres de maillage et d'analyse.

La mise en œuvre d'un problème d'analyse par la méthode des éléments finis sous SolidWorks simulation nécessite la réalisation des tâches suivantes :

- Modélisation géométrique de la pièce,
- Définition des propriétés mécaniques et physiques du matériau,
- Mise en place des conditions frontière,
- Application du chargement,
- Création d'un maillage,
- Exécution de la solution,
- Analyse des résultats.

Cependant pour simuler un essai de fatigue, il faut procéder l'analyse statique et l'analyse de fatigue pour chaque valeur de chargement et pour chaque type d'éprouvettes.

2.1.3. Définition de l'essai :

2.1.3.1. Type d'essai : C'est un essai de fatigue en flexion plane alterné sur éprouvettes planes avec un rapport de chargement $R = -1$.

2.1.3.2. Calcul :

Pour trouver le nombre de cycle à rupture des éprouvettes, nous avons donc utilisé Solidworks

2.1.3.3. Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques concernent la définition de la structure sur laquelle est effectuée l'étude. Avant de considérer des structures de forme complexe, nous avons décidé d'appliquer ce travail à une forme d'éprouvette choisie en présence d'entaille.

2.1.4. Méthodes numériques : aspects généraux

De nombreuses méthodes numériques sont appliquées à la fatigue. Pour toutes ces méthodes, il est nécessaire de pouvoir définir correctement les conditions aux limites en terme de chargement afin d'obtenir des résultats fidèles à la réalité. Le cas le plus répandu consiste en un chargement cyclique à amplitude constante qui permet d'étudier un certain nombre de phénomènes.

2.1.5. Démarche :

L'éprouvette pour laquelle on a fait l'analyse est une éprouvette plane parallélépipédique à section rectangulaire constante présentant un profil triangulaire d'égale résistance.

2.1.6. Géométrie :

Nous avons fait les calculs sur des éprouvettes pour deux formes d'entailles.

L'éprouvette présente deux entailles traversantes et parallèles. Les entailles sont localisées dans la partie d'égale résistance.

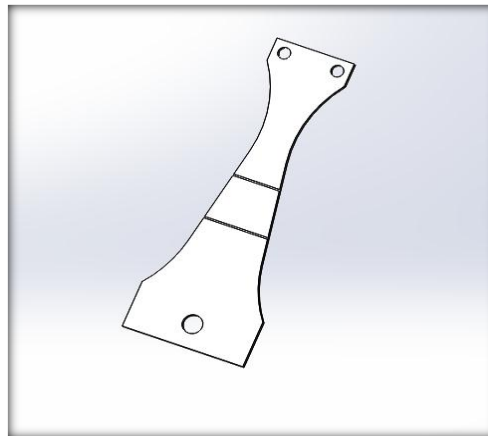


Fig.2.1.éprouvette avec deux entailles traversantes

Pour étudier l'influence de l'entaille, il est primordial que les dimensions de fond d'entaille de l'éprouvette entaillée soient bien définies.

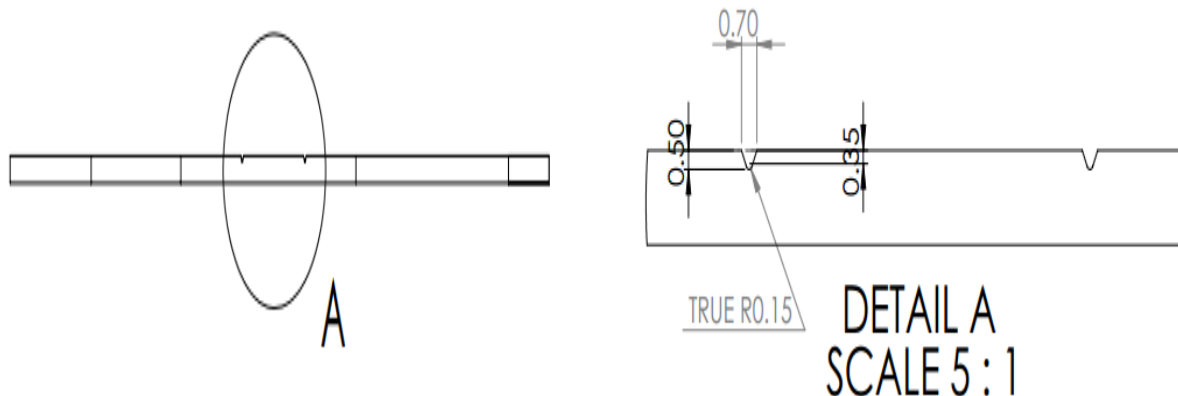


Fig. 2.2 : vue en coupe de l'éprouvette entaillée

2.1.6.1. Dimensionnement de l'éprouvette :

La forme et les dimensions s'inspirent d'éprouvettes normalisées en respectant les proportions et sont adaptées au problème particulier, pour être représentatives de l'échelle des pièces réelles et être adaptées aux moyens de fabrication [8]. La figure 3.1, empruntée partiellement à [9], illustre une éprouvette normalisée

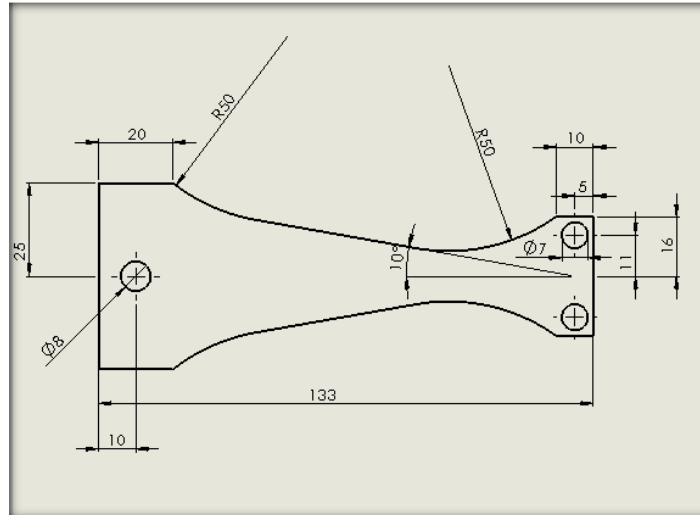


Figure 2.3 : Éprouvette normalisée

2.1.7. Données du matériau

Le tableau 2.1. Données du matériau

Module d'élasticité	210	GPa
Coefficient de Poisson	0.28	
Module de cisaillement	79	GPa
Masse volumique	7740	kg/m ³

2.1.8. Condition aux limites

2.1.8.1. Déplacement :

L'éprouvette est encastrée à sa base

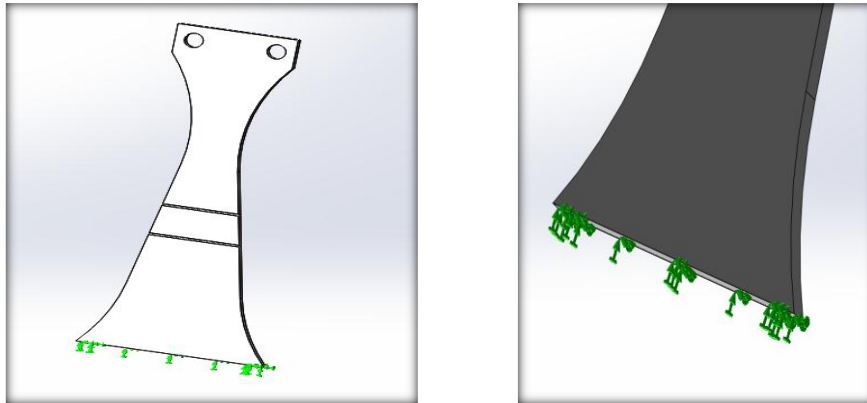


Fig.2.4. Configuration d'encastrement

2.1.8.2. Chargement :

Pour modéliser le chargement, nous considérons la surface sur laquelle la force est active où nous appliquons une pression équivalente en considérant la force totale. Il a fallu créer une pièce solidworks constituée de deux corps volumétriques. Cette force est estimée à $F=24.5N$

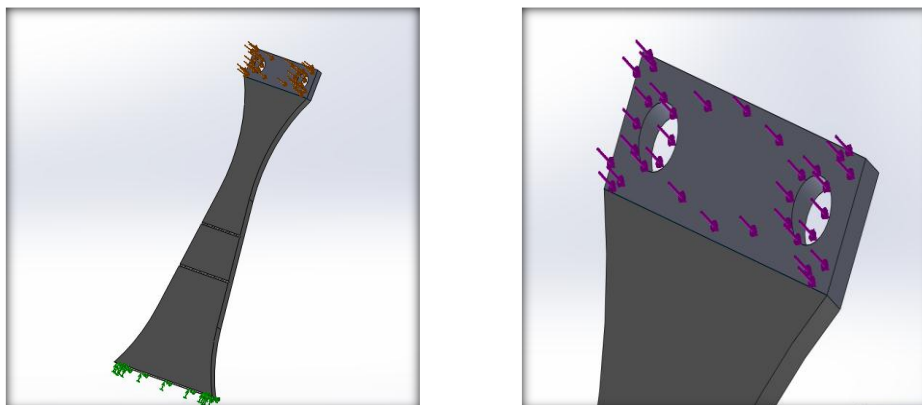


Fig.2.5. Configuration de chargement

2.1.9. Simulation

Après avoir activé le complément SolidWorks simulation, nous procédons à une analyse statique. Pour cela nous définissons les conditions (déplacements imposés, le chargement imposé et le maillage). La figure suivante illustre la configuration choisie.

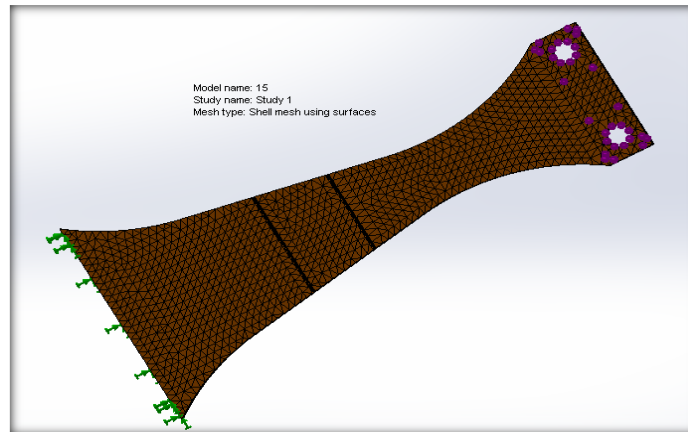


Fig.2.6. Configuration de l'éprouvette

2.1.9.1. Maillage :

Les éprouvettes considérées représentent des tôles. Les tôles métalliques d'épaisseur uniforme (sauf pour les études d'essai de chute) sont traitées automatiquement comme des coques par le programme. Le logiciel extrait les surfaces médianes et génère un maillage de coque sur la surface médiane. Il faut donc modifier l'épaisseur de la coque dans le Property Manager.

Définition de coque : Nous pouvons aussi choisir entre les formules de coque mince et de coque épaisse.

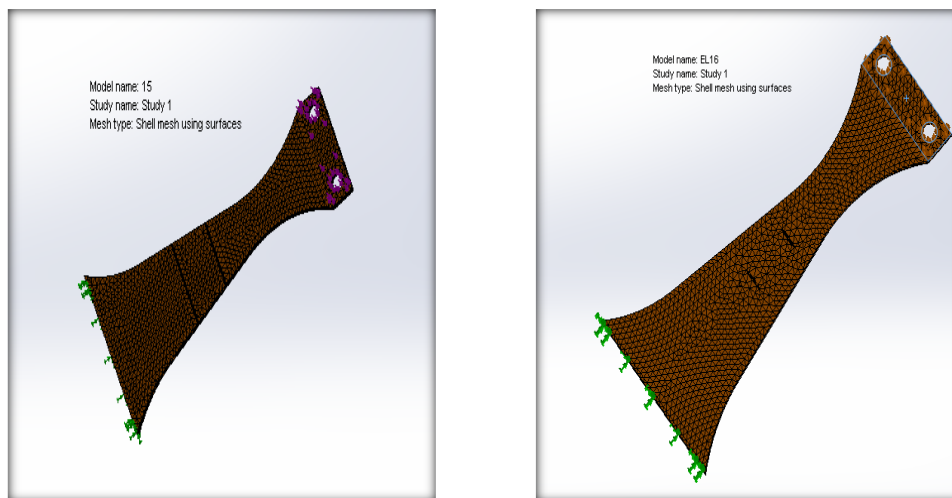


Fig.2.7. Configuration de l'éprouvette

2.1.9.2. Analyse de fatigue :

Pour faire une analyse en fatigue, il faut :

- Créer une étude de fatigue et définir ses conditions ;
- Définir le type d'événements ;
- Définir le chargement ;
- Afficher les résultats.
- Exécuter l'étude de fatigue ;

A partir de l'analyse statique, nous avons défini l'analyse de fatigue en précisant le type de chargement tel que $R = -1$. Notons qu'on procédera de la même manière pour chaque type d'entailles.

2.1.10. Résultats

2.1.10.1.Éprouvette avec entailles traversantes

2.1.10.1.1. Distance entre entailles $X=5\text{ mm}$

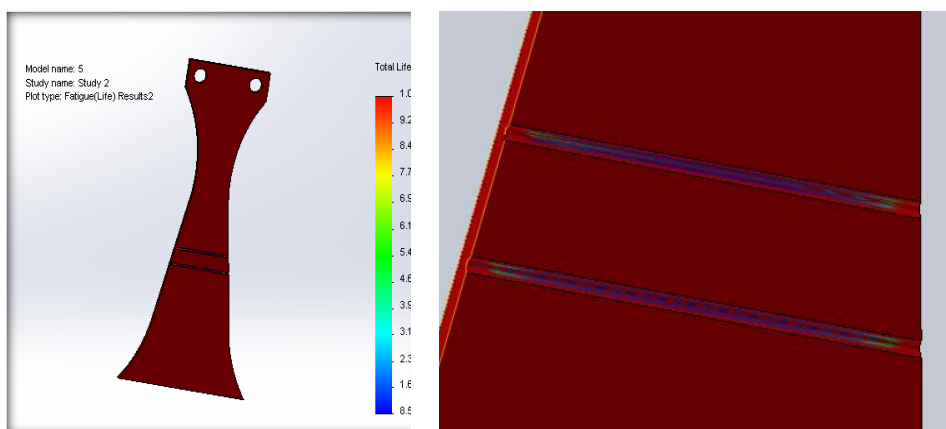


Fig.2.8. Nombre de cycles à la rupture

2.1.10.1.2. Distance entre entailles $X=10\text{ mm}$

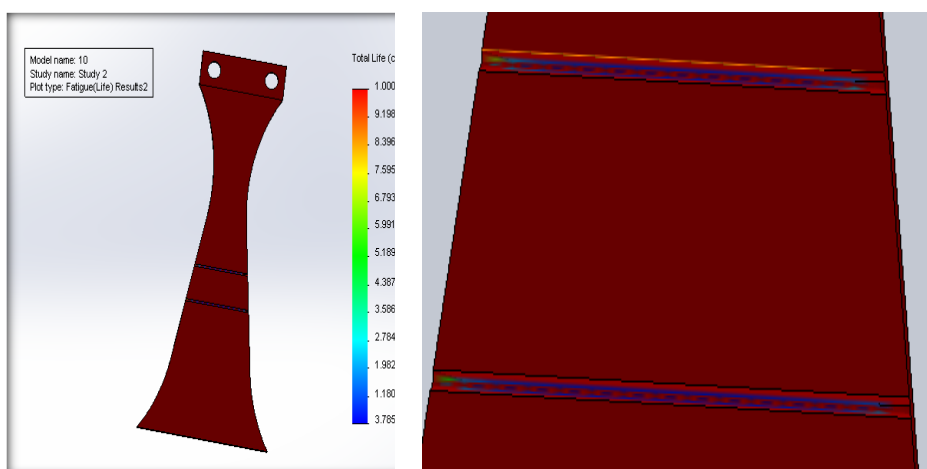


Fig.2.9. Nombre de cycles à la rupture

2.1.10.1.3. Distance entre entailles $X=15$ mm

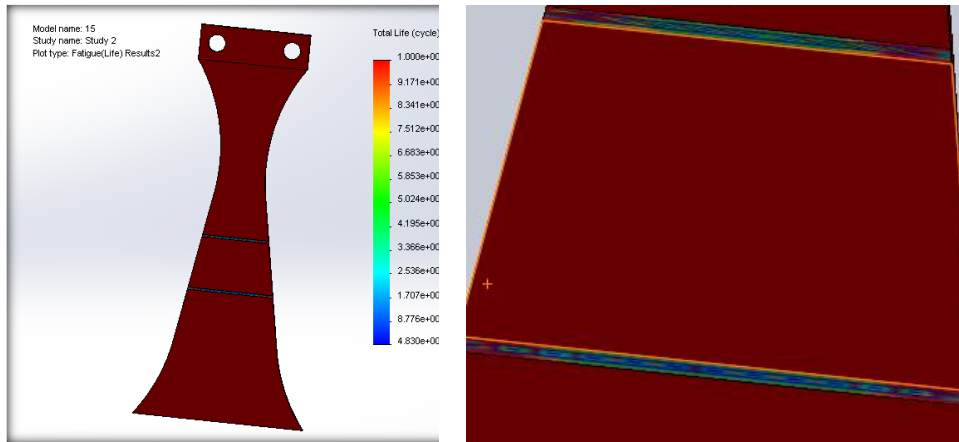


Fig.2.10. Nombre de cycles à la rupture

2.1.10.1.4. Distance entre entailles $X=20$ mm

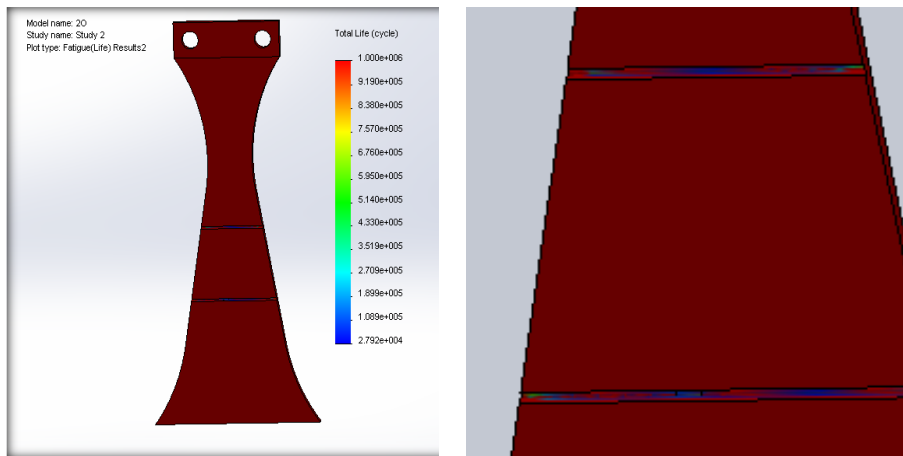


Fig.2.11. Nombre de cycles à la rupture

2.1.11. Récapitulatif des résultats précédents

Tableau 2.2. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes

Distance X (mm)	Cycles
5	85490
10	37850
15	48300
20	27920

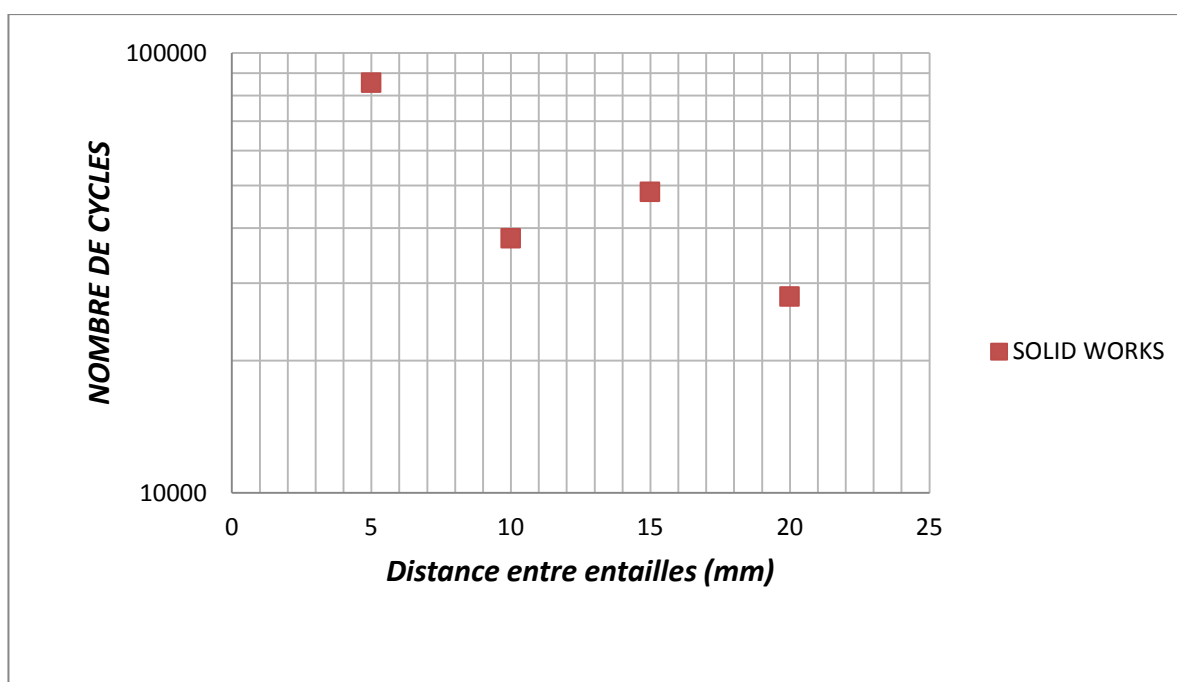


Fig.2.12. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes

2.1.12. Observations et interprétations

Le graphique établi présente l'évolution du nombre de cycles à rupture en fonction de la distance entre entailles.

L'allure de la courbe est décroissante et linéaire. Pour un espacement compris entre 5 et 20 mm, le nombre de cycles est compris entre 27920 et 85490.

Le graphe montre que la durée de vie est inversement proportionnelle à la distance entre les entailles

1.2. Simulation avec Ansys:

ANSYS, avec ses 90000 installations commerciales dans 8900 sociétés, représente 25% du marché mondial du calcul MEF. ANSYS ne s'est pas seulement établi comme une solution efficace dans les secteurs classiques de la simulation comme l'automobile, l'aviation civile, l'industrie spatiale ou la construction de machine mais également dans les branches plus récentes comme la microtechnique, la microélectronique ou l'industrie médicale. ANSYS couvre par ses caractéristiques multi-physiques pratiquement toutes les disciplines de la simulation numérique FEM à savoir le calcul statique, dynamique, de choc/chute, structurel, thermique, électromagnétique, électrostatique, piezoélectrique...

2.2.1. But de simulation:

L'objectif de cette expérience est de simuler le chargement en fatigue en flexion plane sur des éprouvettes en en acier présentant deux entailles parallèles. La distance entre entaille varie de 5 à 20mm. L'étude s'intéresse à l'effet de cette distance sur la durée de vie.

2.2.2. Présentation d'ANSYS Workbench :

ANSYS Workbench est la plateforme sur laquelle sont construite notre modélisation de simulation numérique, la plus avancée et la plus riche du marché. Cette plateforme s'appuie sur une vue schématique innovante du projet de simulation qui présente à l'utilisateur le processus complet de simulation et le guide au travers d'analyses multi-physiques, quel que soit leur complexité. La connectivité CAO bidirectionnelle, le maillage automatisé, le mécanisme de mise à jour des projets, la gestion des paramètres et les outils intégrés d'optimisation un outil d'une productivité exceptionnelle favorisant le pilotage du développement produit par la simulation (Simulation-Driven Product Development).

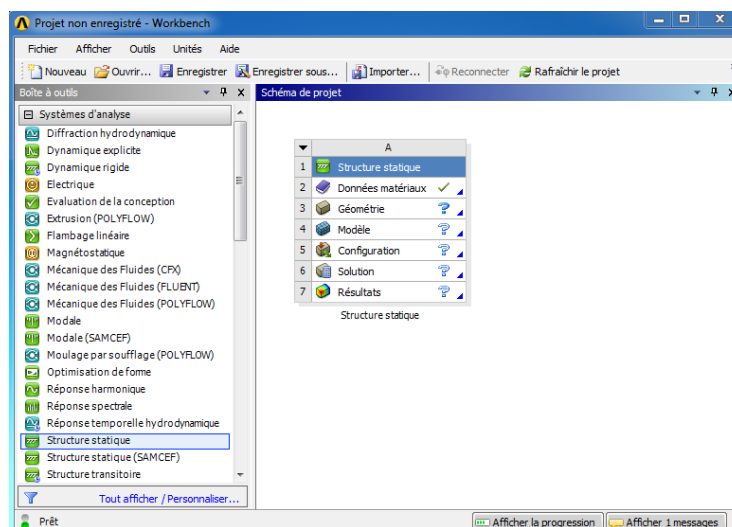


Fig 2.12. Présentation d'Ansys Workbench

2.2.3. Définition de l'essai :

3.3.3.1. Type d'essai : C'est un essai de fatigue en flexion plane alterné sur éprouvettes planes avec un rapport de chargement $R = -1$.

2.2.3.2. Calcul :

Pour trouver le nombre de cycle à rupture des éprouvettes, nous avons donc utilisé ANSYS

2.2.3.3. Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques concernent la définition de la structure sur laquelle est effectuée l'étude.

2.2.4. Condition aux limites

2.2.4.1. Déplacement :

L'éprouvette est encastree a sa partie la plus large. Un effort global de 24.5 N est appliqué sur la partie la moins large.

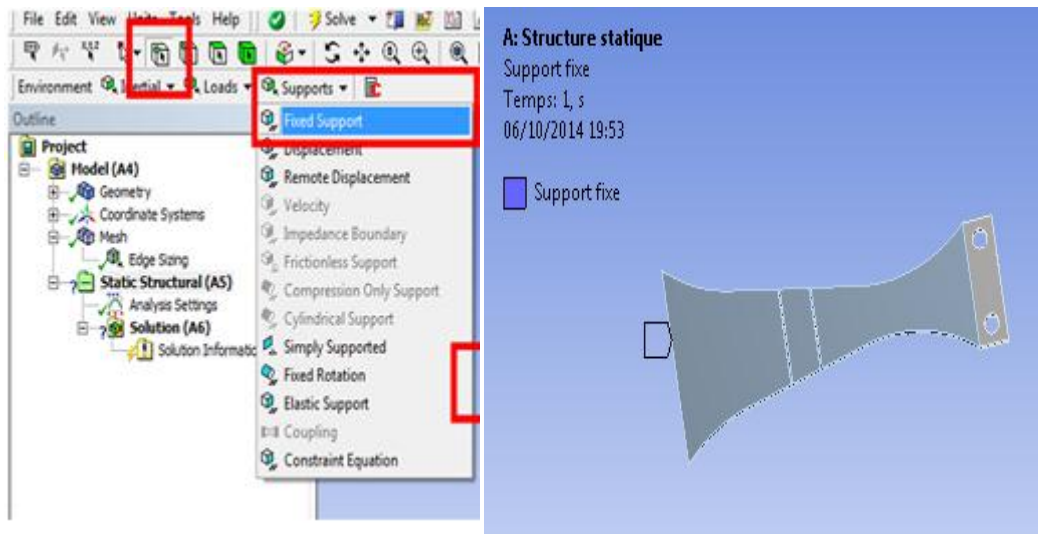


Fig.2.13. Configuration d'encastrement

2.2.4.2. Chargement :

Pour modéliser le chargement, nous considérons la surface sur laquelle la force est active où nous appliquons une pression équivalente en considérant la force totale. Il a fallu créer une pièce ANSYS constituée de deux corps volumétriques. Cette force est estimée à $F=24.5N$

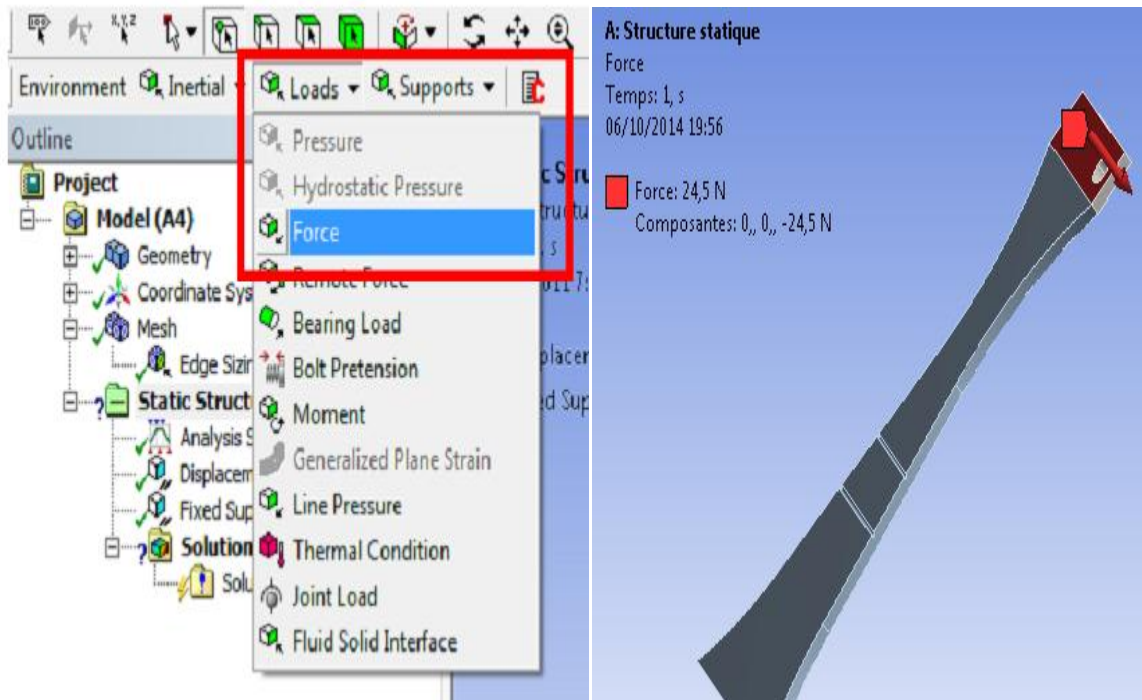


Fig.2.14. Configuration de chargement

2.2.5. Simulation

Après avoir activé le complément ANSYS simulation, nous procédons à une analyse statique. Les conditions sont définies (déplacements imposés, le chargement imposé et le maillage).

3.3.9.1. Maillage :

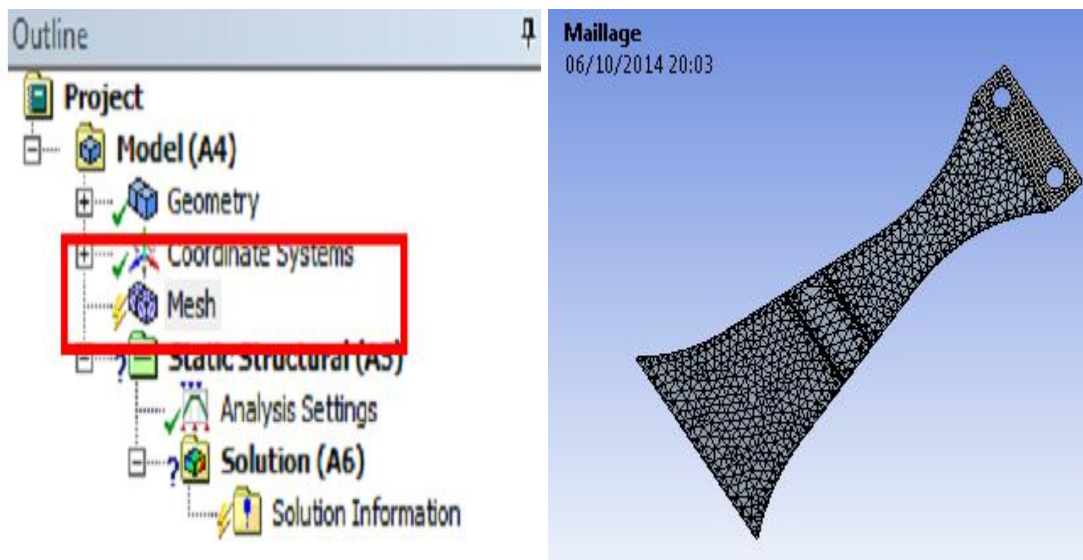


Fig.2.15. Configuration de l'éprouvette

2.2.6. Résultats

2.2.6.1.1. Distance entre entailles X=5 mm

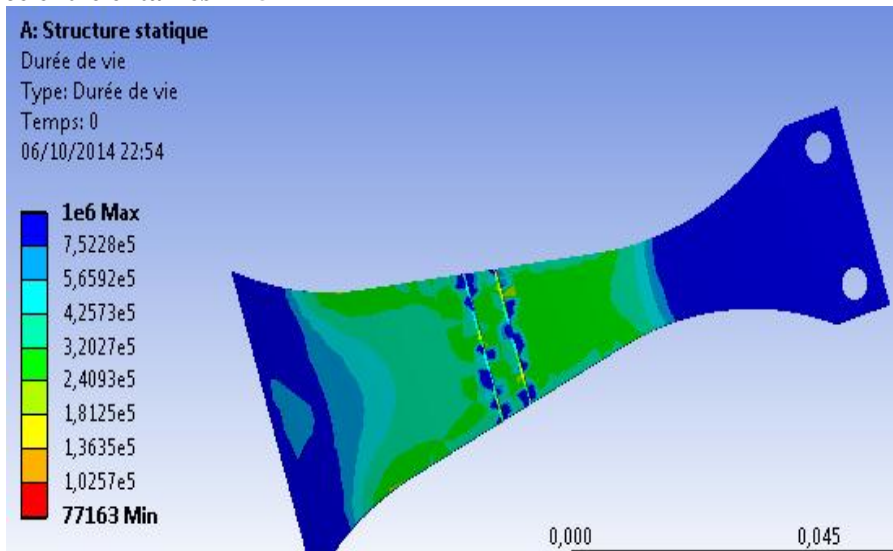


Fig.2.16. Nombre de cycles à la rupture

2.2.6.1.2. Distance entre entailles X=10 mm

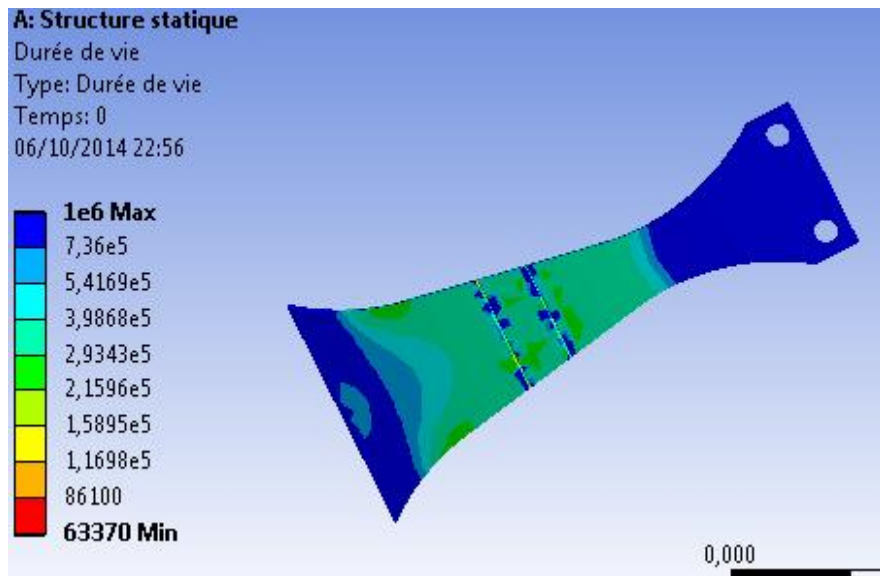


Fig.2.17. Nombre de cycles à la rupture

2.2.6.1.3. Distance entre entailles X=15 mm

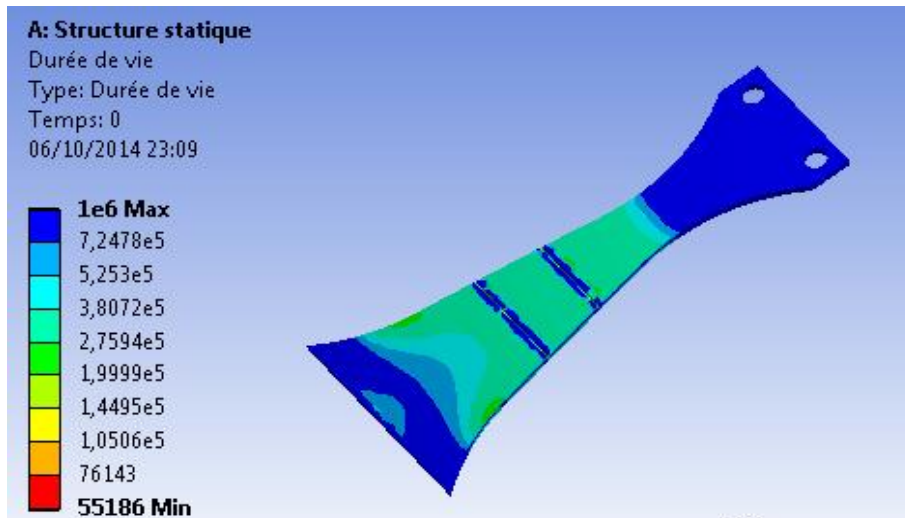


Fig.2.18. Nombre de cycles à la rupture

2.2.6.1.4. Distance entre entailles X=20 mm

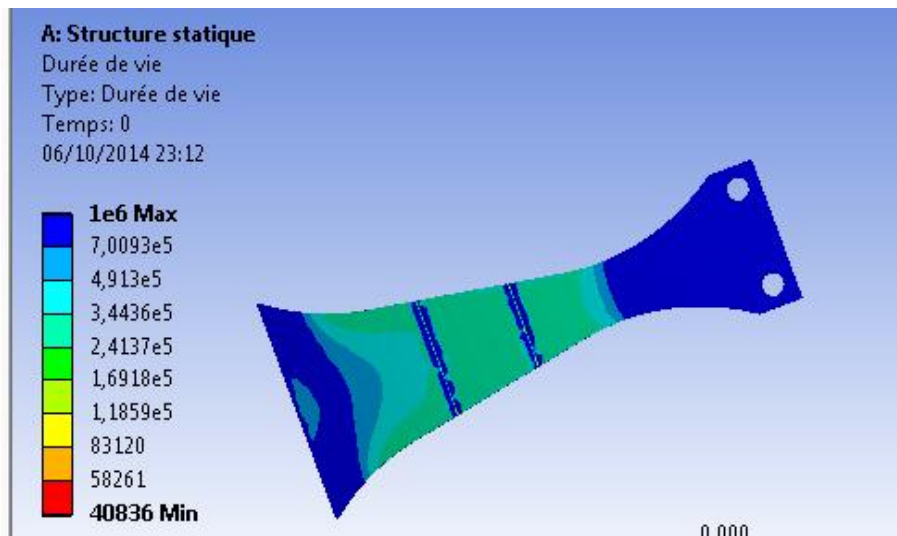


Fig.2.19. Nombre de cycles à la rupture

2.2.7. Récapitulatif des résultats précédents

Tableau2.3.Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes

Distance X (mm)	Cycles
5	77163
10	63370
15	55186
20	40836

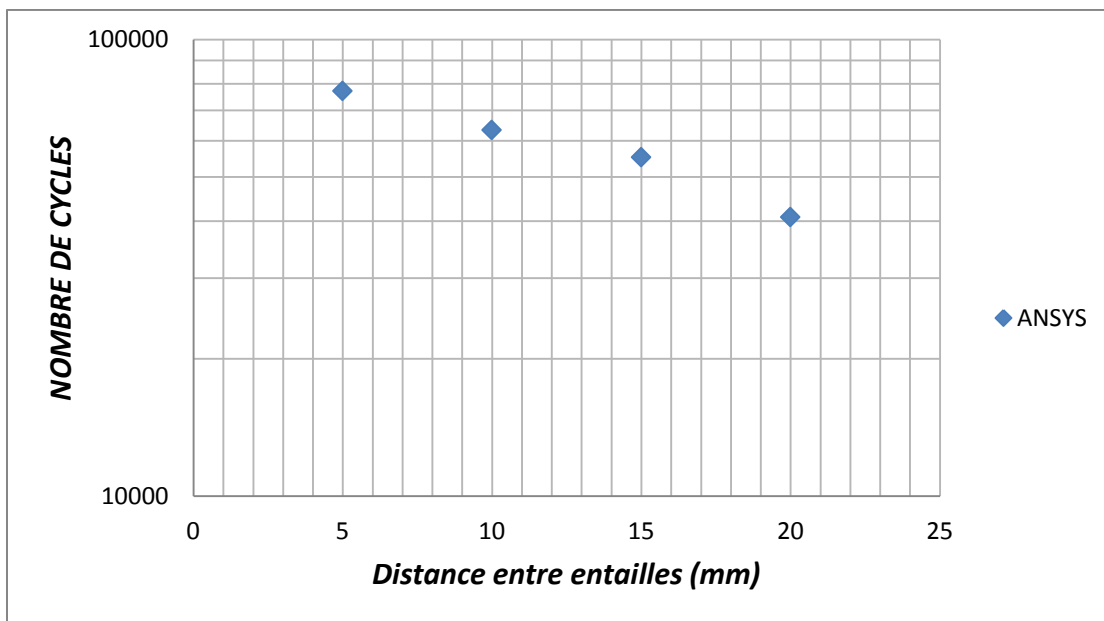


Fig.2.20. Variation de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles traversantes

2.2.8. Observations et interprétations

Le graphique établi présente l'évolution du nombre de cycles à rupture en fonction de la distance entre entailles.

L'allure de la courbe est décroissante et presque linéaire. Pour un espacement compris entre 5 et 20 le nombre de cycles est compris entre 40830 et 77163.

Le graphe montre que la durée de vie est inversement proportionnelle à la distance entre les entailles.

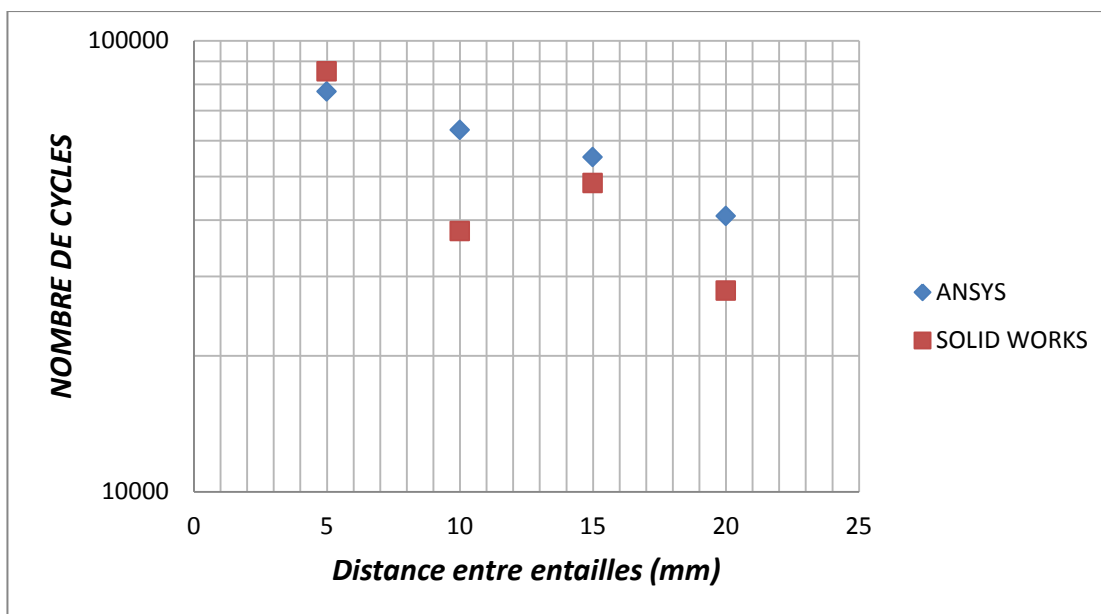


Fig.2.21. Comparaison de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles Traversantes entre Solidworks et Ansys

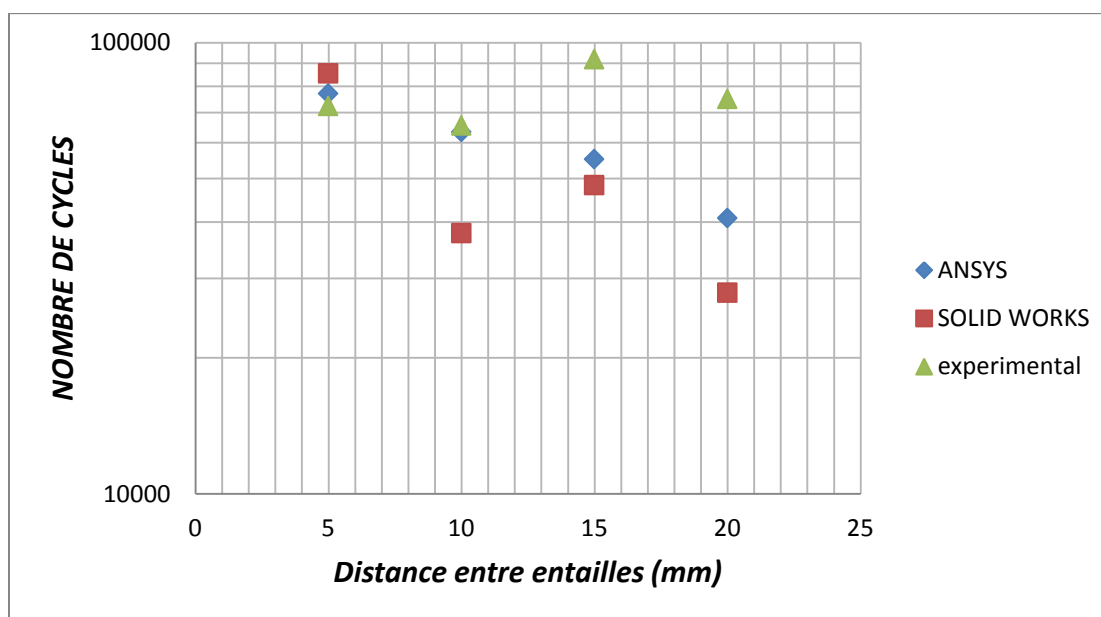


Fig.2.22. Comparaison de la durée de vie N en fonction de la distance entre les entailles Traversantes

2.2.9. Observations et interprétations

Les résultats obtenus par Ansys semblent plus proches à ceux obtenus expérimentalement. Ces derniers restent à mieux être cernés avec des essais plus nombreux. La perte de rigidité flexionnelle est un indicateur pour obtenir une évolution de la durée de vie en fonction de la distance entre entailles. Solidworks est un outil puissant pour la conception. Nous devons tenir ses résultats de calcul comme des résultats préliminaires.

Conclusion :

La simulation numérique désigne l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique réel et complexe. Les simulations numériques scientifiques reposent sur la mise en œuvre de modèles théoriques utilisant souvent la technique des éléments finis. Elles sont donc une adaptation aux moyens numériques de la modélisation mathématique, et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé ainsi qu'à en prédire son évolution [7].

La simulation représente un bon compromis. Bien qu'il existe différents types de logiciels de simulation numérique, notre choix s'est porté sur SolidWorks et ANSYS.

SolidWorks peut représenter une très bonne option si nous voulons utiliser ses modules spécifiques. C'est un logiciel puissant de CAO.

Si nous sommes intéressés aux calculs des contraintes, déformations, durée de vie en fatigue, ANSYS prend en compte parfaitement cet aspect. ANSYS (structurale et thermique) permet beaucoup plus l'intervention de l'utilisateur en termes de paramètres de maillage et les paramètres d'analyse.

N'oubliez pas que le logiciel de CAO ont mis en œuvre que par quelques années modules adjacents (par exemple pour l'étude dans le domaine de fluide, structure, dynamique cinématique thermique). Ces modules adjacents ne peuvent être comparés que les résultats et la précision comme ANSYS Workbench.

Ceci explique que les résultats obtenus par Ansys semblent plus proches à ceux obtenus expérimentalement que ceux obtenus par Solidworks. Ces derniers restent à mieux être cernés avec des essais plus nombreux. La perte de rigidité flexionnelle est un indicateur pour obtenir une évolution de la durée de vie en fonction de la distance entre entailles. Solidworks est un outil puissant pour la conception. Nous devons tenir ses résultats de calcul comme des résultats préliminaires.

Références Bibliographiques:

- [1] David PIGNEAUX., EFFET DOENTAILLE EN FATIGUE DANS LES JOINTS SOUDES EN ACIERS, novembre 2002
- [2] Yao, W., Xia, K., & Gu, Y., On the fatigue notch factor, *K International Journal of Fatigue*, 17(4), 245-251, 1995.
- [3] Schijve, J., Stress gradients around notches. *Fatigue of engineering materials and structures*, 3(4), 325-338., 1980
- [4] Dowling, N. E., *Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue* (3rd éd.). Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall., 2007
- [5] BATHIAS, C., PINEAU, A., *Fatigue des matériaux et des structures*, vol.1. Introduction, endurance, amorçage et propagation des fissures, fatigue oligocyclique et gigacyclique. Paris : Hermes science publ. 294 p., 2008.
- [6] Henri-Paul LIEURADE, Gilles POMEY Référence M130 | Date de publication : 10 oct. 1982 |
- [7] NADIR Issam , Simulation sous SolidWorks de l'influence de la distance entre entailles parallèles pour un acier C45 en fatigue par flexion plane, Projet de master, ENP, Alger, 2013.
- [8] RABBE, P., LIEURADE, H. P., GALTIER, A. Essais de fatigue, partie 1. M4170,
- [9] Waryoba, D.C.R.; Mshana, J.S.; Effect of size and stress gradient on fatigue behaviour. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* Vol. 60, No. 2, 1994, pp. 177-182