



كلية العلوم والتكنولوجيا
Department of Mechanical Engineering

قسم المهندسة الميكانيكية

N° d'ordre :

M...../GM/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

Etude de l'effet de facteur de concentration de contrainte sur la
tenue en fatigue

Présenté par :

BENCHENNI Ismail
ADDA Mohammed Oussama

Soutenu le .. / .. / 2022 devant le jury composé de :

Président	M. ZENASNI Ramadan	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	M. BENKHATAB MOHAMED	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	M.BENKABOUCHE S.Eddine	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2021 / 2022

ملخص

تم تصميم الأجزاء الميكانيكية بغرض أداء وظيفة فنية ، ولهذا ، يجب أن تتحمل الهياكل أنواعًا مختلفة من الضغوط. عيوب الشكل مثل الثقوب وما إلى ذلك لا يمكن تجنبها بشكل عام أثناء التصميم ، مما يؤدي إلى تركيزات الإجهاد التي تسبب تشققات في التكوين وبالتالي الفشل .

في هذه الدراسة ، سوف نسلط الضوء على تأثير عامل تركيز الإجهاد على إجهاد الهياكل. للقيام بذلك ، أخذنا هيكلين مستطيلين الشكل ، الأول به ثقب في المركز ، بأقطار مختلفة ، والآخر به شكل بيضاوي متغير الحجم ، مشدد عليه بالأحمال الدورية والرتبية. نوع المواد المستخدمة هي SM45C لتحويل الأحمال المطبقة إلى إجهاد مكافئ ، استخدمنا معيار إجهاد كروسلاند ، وعبر رمز العنصر المحدود انسييس ، حددنا مناطق الإجهاد المرتفع ، وقمنا بحساب معاملات معيار التعب. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الزيادة في عامل تركيز الضغط تؤدي إلى تقليل عمر الأجزاء إلى عدد الدورات. الكلمات المفتاحية : عامل تركيز الإجهاد ، التعب ، المعيار ، العناصر المحدودة ، التحمل.

Résumé :

Les pièces mécaniques sont conçues dont le but d'accomplir une fonction technique, pour cela, les structure doivent supporter les différents types de sollicitations. Les défauts de forme comme les entailles, les trous, etc. sont généralement inévitables au cours de la conception, ce qui conduit à des concentrations de contraintes provoquant la naissance des fissures, et par suite la rupture.

Dans cette étude, nous allons faire la mise en évidence de l'effet du facteur de concentration de contraintes sur la tenue en fatigue des structures. Pour ce faire, nous avons pris deux structures de forme rectangulaire, la première présente un trou au centre, avec différents diamètres, et l'autre a une ellipse de taille variable, sollicitées par des charges cycliques et monotones. La nuance du matériau utilisée est SM45C. Pour convertir les charges appliquées en une contrainte équivalente, nous avons utilisé le critère de fatigue de Crossland, et via le code d'éléments finis Ansys, nous avons localisé les zones de fortes contraintes, et calculé les paramètres du critère de fatigue. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation du facteur de concentration de contraintes provoque la diminution de la durée de vie des pièces au nombre de cycles.

Mots de passe : Concentration de contraintes, fatigue, critère, éléments finis, endurance.

ABSTRACT

Mechanical parts are designed with the aim of performing a technical function, for this, the structures must withstand the different types of stresses. Shape defects such as notches, holes, etc. are generally unavoidable during the design, which leads to stress concentrations causing cracks to appear, and consequently rupture.

In this study, we will highlight the effect of the concentration factor of constraints on the fatigue strength of structures. To do this, we took two rectangular-shaped structures, the first has a hole in the center, with different diameters, and the other has an ellipse of variable size, stressed by cyclic and monotonic loads. The grade of the material used is SM45C. To convert the applied loads into an equivalent stress, we used the Crossland fatigue criterion, and via the Ansys finite element code, we located the areas of high stresses, and calculated the parameters of the fatigue criterion. The results obtained show that the increase in the stress concentration factor causes the service life of the parts to decrease with the number of cycles.

Keywords: Stress concentration, fatigue, criterion, finite elements, endurance.

كلمة شكر

الحمد لله ، الذي علم الإنسان ما لم يعرفه ، وزاده من علمه و فضله ، و رزقنا بالصبر والتصميم على مواصلة هذه الرحلة وأخيرا القيام بهذا العمل كما نود أن نشكر أستاذنا المميز الذي وجهنا طوال هذا العمل وقدم لنا الكثير من المعلومات والنصائح والارشادات القيمة وأخيرا ، نود أن نرسل تحية محترمة لجميع المعلمين من قسم الهندسة الميكانيكية خلال هذا العام من الماجستير الثاني

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, qui a enseigné à l'homme ce qu'il ne savait pas, et l'a augmenté par sa connaissance et sa Vertu, et qui a donné à l'Homme la patience et la détermination pour continuer ce voyage et enfin faire ce travail .

Nous tenons également à remercier notre professeur émérite qui nous a guidés tout au long de ce travail et nous a fourni beaucoup d'informations, de conseils et de précieux conseils .

Enfin, nous voudrions adresser nos hommages respectueux à tous les enseignants de département de génie mécanique, qui nous ont dispensé des cours et prodigués des conseils durant cette année de Master II.

Table des matières

ملخص	2
Résumé :	2
ABSTRACT	3
كلمة شكر	4
REMERCIEMENTS.....	4
Table des matières	5
Table des figures:.....	8
NOMENCLATURE	9
Chapitre I.....	11
Généralités sur la fatigue	11
I.1.Introduction :	11
I.2.facteur de concentration de contrainte (K t):.....	11
I.2.1.Contrainte maximale ou réelle :	11
I.2.2.Contrainte nominale:.....	12
Facteurs influençant l'effet de la concentration des ontraintes:	12
I.2.3.Type de matériau versus concentration des Contraintes:.....	12
I.3.Généraux sur la fatigue mecanique:	13
I.3.1.apparent de Resistance à la fatigue:	13
I.3.2.Fatigue et endurance:	13
définition de l'endurance:	13
Autre definition:	13
I.3.3.Essais de fatigue :	14
I.4.courbe de wohler :	14
Définition (courbe de wohler):	15
I.4.1.Courbe de Wöhler et les différents domaines de fatigue:	15
I.4.2.Cycle de contrainte en fatigue:	15
I.5.Critères de Plasticité de Von Mises	15
I.6.Critère de Crossland (1956):	16
Chapitre II.....	18
II .1.Introduction :	18
La forme de la pièce sur laquelle nous allons travailler	18

Remarque :	18
II.2.des exemples de différentes formes de piece avec différents Kt :	19
II.3.méthode de calcul Kt:	19
Observation :	19
II.4.Logiciel utilisé pour effectuer des simulation et les tests :	20
II.4.1.Pourquoi utiliser la modélisation par simulation ?	20
II.4.2.abaqus et ansys:	20
1-abaqus:	20
2-Ansys:	21
Remarque:	22
II.5.Les structure :	22
II.6.l'essayer :	23
II.6.1.Les valeure avec Mesh très fin =0.5:	23
II.6.2.comparaison entre mesh 3 et 1:	23
II.6.3.Indication de la façon d'extraire la contrainte maximale :	24
les zone critique:	24
Note:	25
Correspondant a la note avec $\sigma_{moy}=40MPA$, $F=40KN$, $t=10mm$	25
II.7.Comparer et observer de l'essayer :	25
II.7.1.comparaison graphique:	25
1) ordre de maillage en fonction de la contrainte maximale	25
Comparaison:	26
Comparaison:	26
Note generale pour cette chapitre:	27
Chapitre III	28
Calcul de durée de vie en fonction de facteur de concentration de contraintes	28
III.1. Introduction :	28
III.2.Caractéristiques du matériau SM 45C:	28
III.2.1.Composition chimique de l'acier SM 45C:	28
III.2.2.Courbes de fatigue de l'acier SM 45C :	29
III.3.Diagramme de Crossland poure SM 45C :	30
III.3.1.Représentation du diagramme de Crossland:	30
III.4. Calcul de durées de vie des structures:	31
III.4.1. Cas d'une plaque avec trou:	31
Tableau III.1 :	31

Tableau III.2 :	33
Observation :	33
Calcul la durée de vie :	34
1^{ere} chargement :	34
Tableau III.3 :	34
Tableau III.4 :	35
III.4.2. Cas d'une plaque avec ellipse :	37
Tableau III.5:	37
Observation :	38
Tableau III.6:	38
Calcul la durée de vie :	39
Tableau III.7:	39
Tableau III.8:	40
Observation :	41
Conclusion :	41
Conclusion generale :	42
References.....	43

Table des figures:

Figure 1: σ_{nom} et σ_{max}	12
Figure 2: Facteurs influençant l'effet de la concentration des contraintes.....	12
Figure 3: Type de matériau versus concentration des Contraintes ([2],)	13
Figure 4: Essais de fatigue	14
Figure 5: Courbe de Wöhler.....	15
Figure 6: Représentation graphique du critère de Crossland. ([6],)	17
Figure 7: La forme de la pièce	18
Figure 8: des exemple de deffrent forme de piece avec K_t	19
Figure 9: Interface du site Web ([8],)	19
Figure 10: graphe de facteur de concentration de contraintes ([9],)	20
Figure 11: Abaqus.....	21
Figure 12: Ansys	22
Figure 13: mesh 3 et 1.....	23
Figure 14: la contrainte moyenne et maximale dant ansys APDL	24
Figure 15: Image 3D montrant lelement critique.....	24
Figure 16: ordre de maillage en fonction de la contrainte maximale	26
Figure 17: k_t calcule par ansys et k_t analytique	26
Figure 18: acier (SM45C) proprietes	28
Figure 19: sm45c composition.....	28
Figure 20: Courbe de fatigue en torsion purement alternée de l'acier SM 45C.	29
Figure 21: Courbe de fatigue en flexion purement alternée de l'acier SM 45C. ([11],).....	29
Figure 22: Représentation du diagramme de Crossland ([12],)	30
Figure 23: Cas d'une plaque avec trou.....	31
Figure 24: les courbe de L'expérience n°1	32
Figure 25: les courbe de L'expérience n°2.....	33
Figure 26: N_i (cycle) a fonction de la contrainte équivalente de crossland poure le 1 chargement.....	35
Figure 27: N_i (cycle) a fonction de la contrainte équivalente de crossland poure le2 chargement.....	36
Figure 28: Cas d'une plaque avec ellipse.....	37
Figure 29: Expérience n°1	38
Figure 30: Expérience n°2	39
Figure 31: Représentation graphique de K_t en fonction de N_i (cycle).....	40
Figure 32: Représentation graphique de K_t en fonction de N_i (cycle).....	41

NOMENCLATURE

Coefficient de concertation contrainte	Kt
Contrainte principale de contrainte équivalence de von mises	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$
Contrainte minimale et maximale à la traction	σ_{\min}, σ_{\max}
Contrainte nominale	σ_{nom}
Rapport de chargement	R
Nombre de cycles à la rupture	NR
Limite d'endurance en traction	σ_D
Contrainte équivalente de von mises	$\sigma_{\text{eq vm}}$
Paramètres de fatigue à <i>N</i> Cycles	a(N) , b (N)
Paramètres de fatigue liés aux critères de fatigue.	a, b, c, a , Q
Contrainte monotone	$\sigma_{\text{mon}} , \sigma_{\text{m}}$
Contrainte alternee	σ_a
Contrainte moyenne de <i>J</i>	σ_m
Contrainte équivalente de Crossland	σ_{eq}
Pression hydrostatique maximal	Pmax
Deuxième invariant du tenseur déviateur des amplitudes	J2a
Limite d'endurance en traction alternée symétrique	f_{-1}
Limite d'endurance en torsion alternée symétrique	τ_{-1}
Limite de fatigue en flexion alternée symétrique à <i>N</i> Cycles	$f_{-1} (N)$
Limite de fatigue en torsion alternée symétrique à <i>N</i> Cycles	$\tau_{-1} (N)$
module de cisaillement	G
Module de Young	E
Coefficient de Poisson	ν
Limite d'élasticité	σ_e

Introduction générale

Les équipements mécaniques sont généralement conçus pour assurer la continuité de fonctionnement d'une unité de production, ou les pièces constituant ces équipements sont sollicitées aux différents types de chargement au cours du temps, comme par exemple les pièces d'un concasseur à mâchoires subissent des charges variables et alternées (chocs, vibration, etc.). Ces pièces présentent des singularités et des défauts de forme, et sont conçues pour assurer une longue durée de vie possible.

Le but de cette étude, est la mise en évidence de l'effet du facteur de concentration de contraintes sur la tenue en fatigue des structures menues des défauts de forme (cercles et ellipse), de nuance SM45C. Pour ce faire, on élabore un modèle de prédiction des durées de vie des structures, basé sur le critère de fatigue de Crossland. Le code d'éléments finis via Ansys permet de localiser les zones de fortes contraintes, et déterminer la contrainte équivalente maximale, après l'introduction des conditions aux limites.

Notre mémoire est composé de trois chapitres, le premier chapitre, est destiné à la présentation des généralités sur le phénomène de la fatigue. Le second chapitre est réservé à la réalisation d'une comparaison entre les valeurs du facteur de concentration de contraintes obtenus par les abaques de la bibliographie, et ceux déterminés par le code d'éléments finis. Le troisième chapitre est consacré à des applications sur des structures présentant des défauts de forme (cercles, ellipses). Les durées de vie calculées vont permettre d'établir la relation entre la tenue en fatigue et le facteur de concentration de contraintes, selon les cas étudiés.

Une conclusion et quelques perspectives seront montrées en fin de ce travail.

Chapitre I

Généralités sur la fatigue

I.1.Introduction :

Lorsqu'une structure est soumise à des sollicitations au cours du temps sous forme de cycles, il apparaît des fissures dans des zones appelées zones de fortes concentration de contraintes, ces fissures se propagent et conduisent à la rupture de la pièce, c'est le phénomène de la fatigue.

La première étude de la fatigue a été réalisée sur des matériaux métalliques en 1829 par (**Wilhelm August Julius. Albert** est un ingénieur des mines allemand. Cependant, ce domaine a commencé à se développer avec l'augmentation de l'usage des structures en fer particulièrement dans la fabrication des ponts et des chemins de fer. Le premier travail de recherche sur métal a commencé en 1842 à cause d'un accident de chemin de fer à côté de Mersailles en France. Cet accident a causé 1500 à 1800 morts à l'époque.

I.2.facteur de concentration de contrainte (K t):

C'est le quotient de la contrainte maximale appliquée à la zone comportant une entaille et de la contrainte nominale correspondante. Ce facteur fournit une indication théorique sur l'effet d'un renforteur de contrainte sur la comportement mécanique. Il est généralement supérieur au facteur empirique de fatigue à l'entaille ou au coefficient de réduction de résistance, car il ne tient pas compte de la relaxation de contrainte due à la déformation plastique localisée. ([1],) le facteur théorique de concentration de contrainte K_t est défini comme:

$$k_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (I.1)$$

I.2.1.Contrainte maximale ou réelle :

Et c'est la valeur maximale calculée par la forme géométrique de la pièce(methods analytiques). Elle peut être facilement calculée si elle est aussi simple qu'un cylindre ou par les méthodes numériques comme la méthode des éléments finis

I.2.2. Contrainte nominale:

On appelle contrainte nominale, que l'on note σ_{nom} , la contrainte maximale calculée à partir d'une étude RDM, en supposant que l'on prend en compte la plus petite section sollicitée. En général, la façon de calculer σ_{nom} est définie dans les abaques de K_t , comme Ce cas (juste pour clarifier):

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{(b-d) \times t} \quad (I.2)$$

-donc σ_{nom} est calculé comme ça :

Facteurs influençant l'effet de la concentration des contraintes:

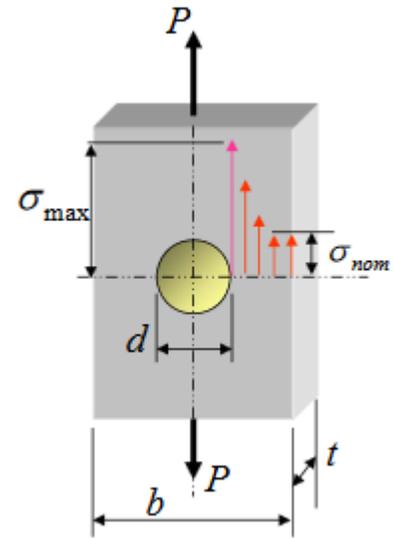


Figure 1: σ_{nom} et σ_{max}

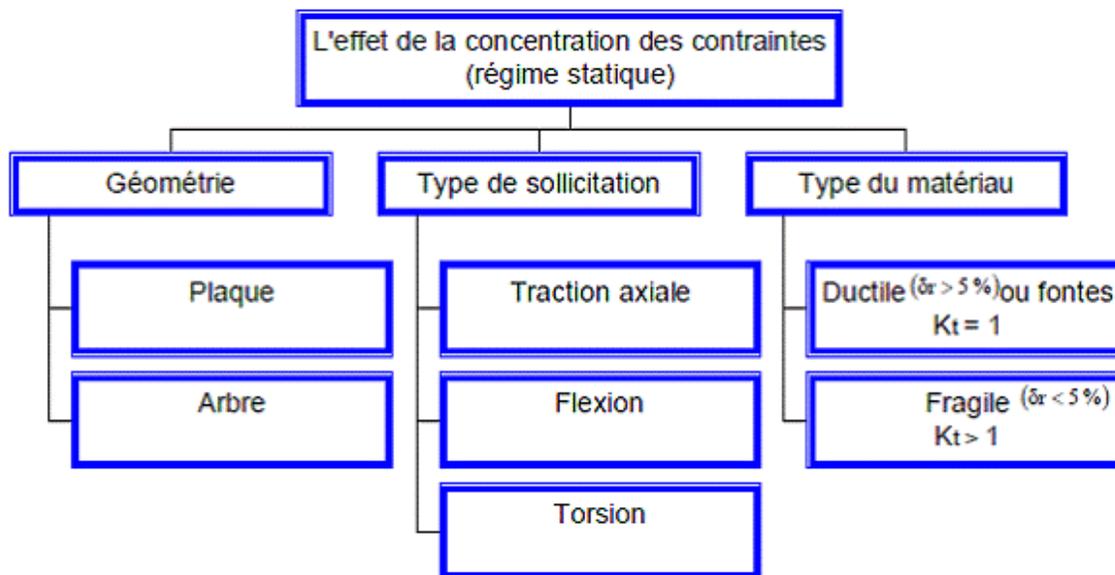


Figure 2: Facteurs influençant l'effet de la concentration des contraintes

I.2.3. Type de matériau versus concentration des Contraintes:

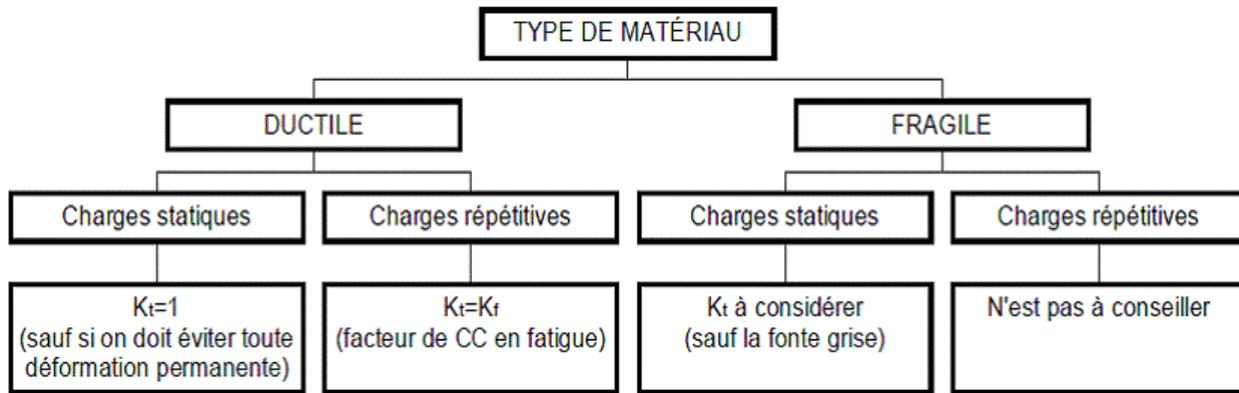


Figure 3: Type de matériau versus concentration des Contraintes ([2],)

I.3. Généralité sur la fatigue mécanique:

I.3.1. apparent de Resistance à la fatigue:

La fatigue est l'endommagement local d'une pièce sous l'effet d'efforts variables : forces appliquées, vibrations, rafales de vent, etc. Alors que la pièce est conçue pour résister à des efforts donnés, la variation de l'effort, même à des niveaux bien plus faibles que ceux pouvant provoquer sa rupture, peut à la longue provoquer sa rupture. Les essais de fatigue permettent de déterminer la résistance des matériaux à de telles faibles charges répétées. ([3],)

I.3.2. Fatigue et endurance: définition de l'endurance:

L'endurance mécanique est la résistance d'un matériau ou d'une pièce mécanique avec le temps : aux différentes sollicitations auxquelles il est exposé, telles que les efforts de traction ou compression, ou de torsion....., et c'est une notion très importante pour que les calculs afférents et par bien comprendre ce phénomène permet de prédire le moment de la panne dans la pièce ou fissuration afin de pouvoir l'éviter, de réduire les efforts appliqués à la pièce, voire de la modifier dans le temps.

Autre définition:

La fatigue est un processus qui, sous l'action de contraintes ou déformations cycliques, répétées ou alternées, modifie les propriétés locales d'un matériau et peut entraîner la formation de fissures et éventuellement la rupture de la structure. Les étapes principales de la fatigue sont :

- Amorçage de fissures,
- Propagation des fissures,

Elle suit d'abord approximativement le plan de scission maximale. La vitesse de propagation est alors très faible. Les défauts ne sont décelables qu'au laboratoire, Puis elle suit le plan perpendiculaire à la contrainte de tension maximale. La vitesse de propagation s'accélère. Pendant cette période, les contrôles décèlent la

fissure.

- La rupture finale . ([4],)

I.3.3.Essais de fatigue :

On appelle fatigue une sollicitation mécanique alternée, souvent mais pas nécessairement périodique, et de faible amplitude.

La fatigue est souvent à l'origine de la rupture des pièces prothétiques dentaires, d'où la nécessité de reproduire ce mode de sollicitation au laboratoire.

Lorsque l'on soumet un matériau à des cycles répétés d'efforts, il subit des modifications de microstructure regroupés sous le terme général d'endommagement par fatigue.

Cet endommagement ne se signale par aucune modification macroscopiquement décelable et la rupture peut intervenir à des niveaux de contraintes peu élevés, souvent inférieurs à la résistance à la traction ou même à la limite d'élasticité.

Le processus de fatigue implique l'apparition d'une fissuration qui se développe progressivement sous l'action de la répétition des sollicitations.

Les essais les plus simples consistent à imposer à des séries d'éprouvettes (cylindriques ou rectangulaires) des cycles d'efforts périodiques sinusoïdaux soit par charge axiale soit par flexion rotative. ([5],)



Figure 4:Essais de fatigue

I.4.courbe de wohler :

Définition (courbe de wohler):

La courbe de Wöhler est appelée courbe S-N (Stress - Number of cycles), la courbe de Wöhler est la plus ancienne et la seule qui permet de visualiser la tenue de la pièce ou des matériaux dans le domaine de fatigue. Elle définit une relation entre la contrainte appliquée σ (parfois notée S) et le nombre de cycles à la rupture NR, Pour la tracer, on réalise généralement des essais simples qui consistent à soumettre chaque éprouvette à des cycles d'efforts périodiques, d'amplitude de chargement constante fluctuant autour d'une valeur moyenne fixée, et à noter le nombre de cycles au bout du quel l'amorçage d'une fissure est observé, appelé ici nombre de cycles à la rupture NR.

I.4.1.Courbe de Wöhler et les différents domaines de fatigue:

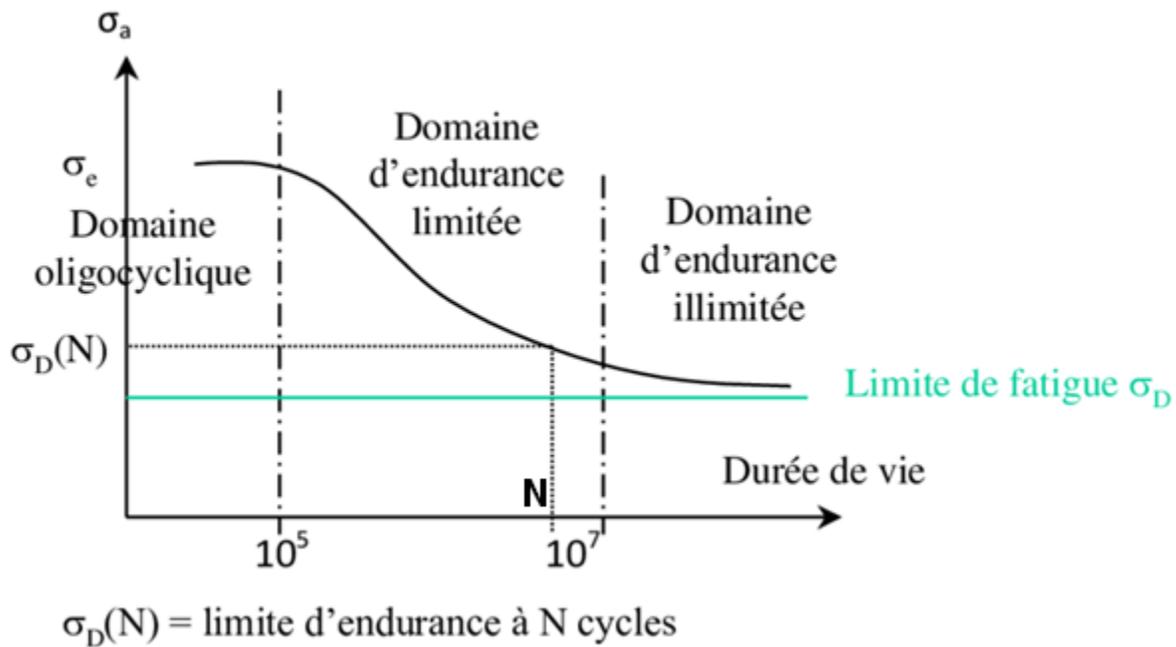


Figure 5: Courbe de Wöhler

I.4.2.Cycle de contrainte en fatigue:

C'est une façon d'exprimer plus clairement le phénomène de fatigue sous forme de diagrammes compréhensibles pour que la courbe soit comprise entre deux valeurs la contrainte minimale et la contrainte maximale Et en divisant le plus petit par le plus grand, on obtient le Rapport de charge R :

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (I. 3)$$

I.5.Critères de Plasticité de Von Mises

Ce critère permet de déterminer le seuil d'écoulement plastique d'un matériau métallique isotrope. C'est un critère énergétique. Le matériau est supposé entrer en plasticité lorsque son énergie de cisaillement atteint une valeur seuil.

Le critère de Von Mises s'établit, en fonction des contraintes principales, comme suit:

$$\sigma_{eq\ vm} = \sqrt{\frac{1}{2} \times [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (\text{I. 4})$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: sont les contraintes principales.

Si : $\sigma_{eqVM} < \sigma_e$: le comportement est élastique

$\sigma_{eqVM} > \sigma_e$: le comportement est plastique

([6],)

I.6. Critère de Crossland (1956):

Le critère de Crossland est défini par la limitation de la contrainte équivalente de Von Mises, exprimée par une relation linéaire entre l'amplitude de la racine carrée du second invariant de déviateur de contraintes et la pression hydrostatique maximale. Le critère s'écrit d'après l'équation

$$\xi a + a P_{max} \leq b \quad (\text{I. 5})$$

Avec:

$$\xi a = \sqrt{J_2 a} = \sigma_{eq} / \sqrt{3} \quad (\text{I. 6})$$

$$P_{max} = \frac{1}{3} [tr(\sigma m) + tr(\sigma a)] \quad (\text{I. 7})$$

sont respectivement le second invariant de déviateur de contrainte et la pression hydrostatique maximale respectivement, avec:

$$a = \frac{\tau_{-1}(N) - \frac{f_{-1}(N)}{\sqrt{3}}}{\frac{f_{-1}(N)}{3}} \quad (\text{I. 8})$$

$$b = \tau_{-1}(N) \quad (\text{I. 9})$$

La représentation graphique du critère est montrée sur la figure 5:

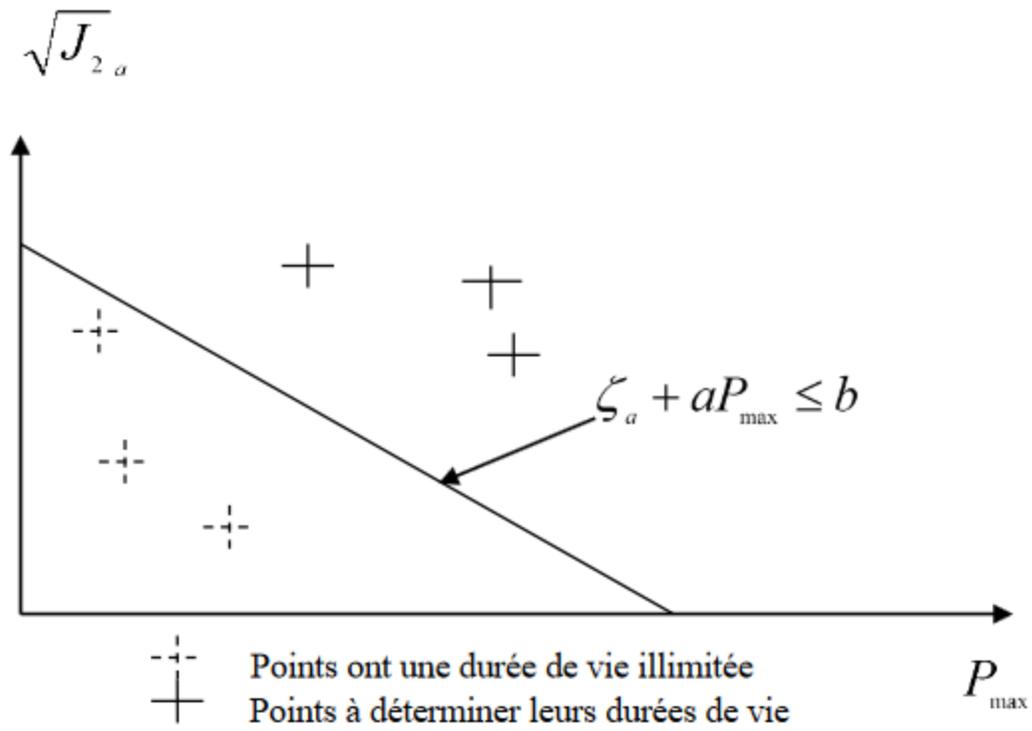


Figure 6: Représentation graphique du critère de Crossland. ([6],)

Chapitre II

Etude analytique et simulation de facteur de concentration de contraintes

II .1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous faisons une comparaison entre l'étude analytique et la simulation par logiciel du facteur de concentration de contraintes,

On prend deux pièces de formes différentes et on changera les dimensions comme le diamètre du cercle ou l'épaisseur de la pièce, et ensuite on comparera les résultats obtenus,

La forme de la pièce sur laquelle nous allons travailler

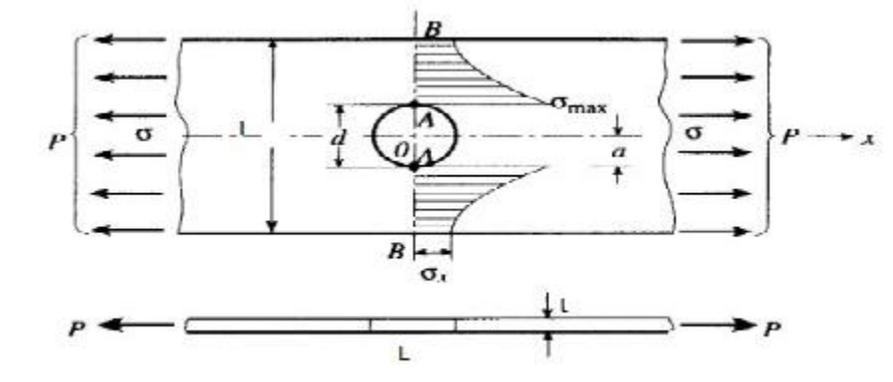


Figure 7:La forme de la pièce

Remarque :

Pour chaque pièce de formes différentes, son graphique de la concentration de contrainte en fonction de coefficients géométriques est tiré de la pièce et de ces courbes. Les institutions spécialisées dans ce domaine mènent des expériences approfondies avec différentes formes de pièces pour enregistrer la courbe complète.

II.2. des exemples de différentes formes de pièce avec différents K_t :

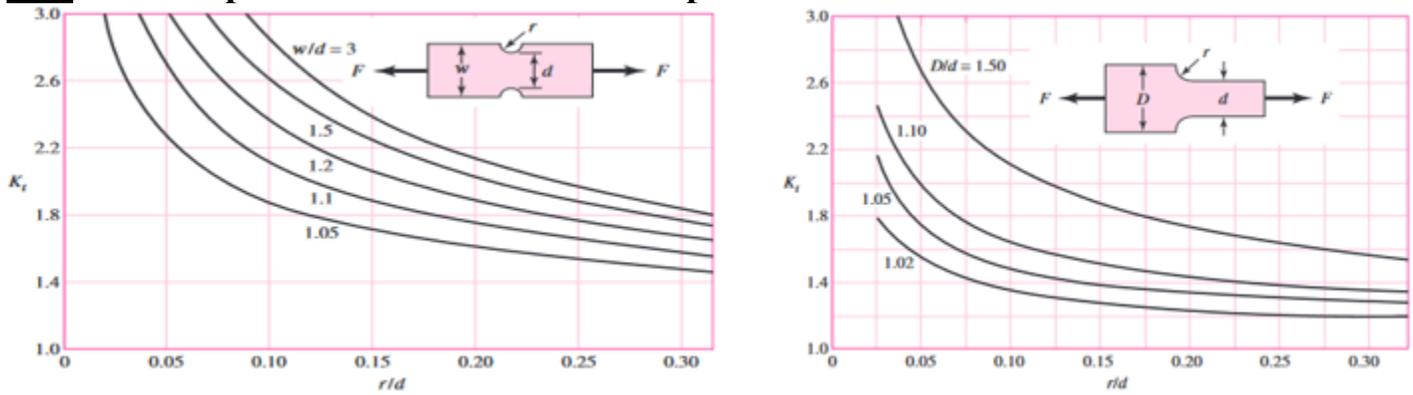


Figure 8: des exemple de deffrent forme de piece avec K_t

([7])

II.3.méthode de calcul K_t :

Comment extraire le facteur de concentration de contrainte pour la plaque montrée dans figure 7, Nous divisons simplement la largeur de la pièce par le diamètre du cercle et faite la projetons sur la courbe dessinée pour obtenir le facteur K_t .

Observation :

Nous avons utilisé ce site car il aide à calculer directement le facteur de concentration de contrainte directement : <https://mechanicalc.com/calculators/stress-concentration/>

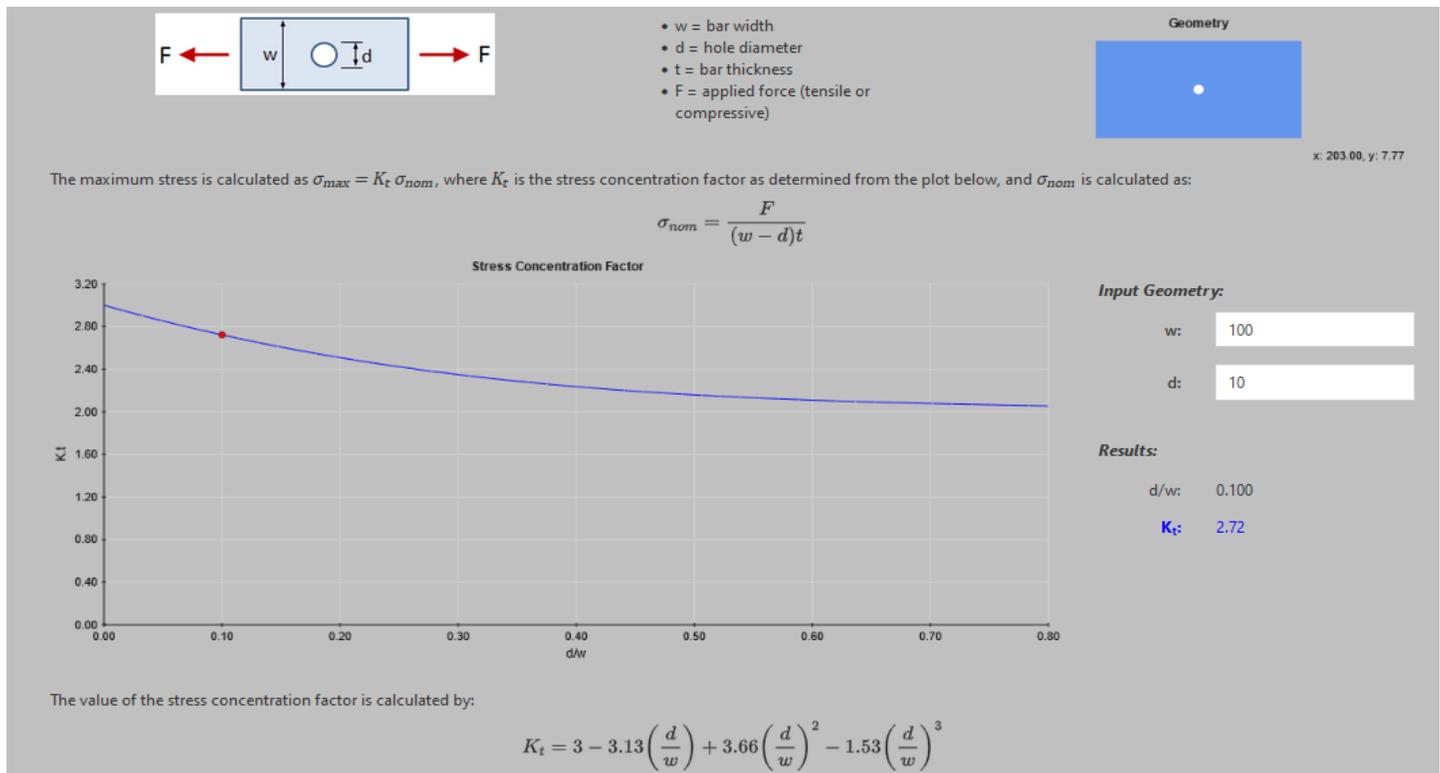


Figure 9: Interface du site Web ([8],)

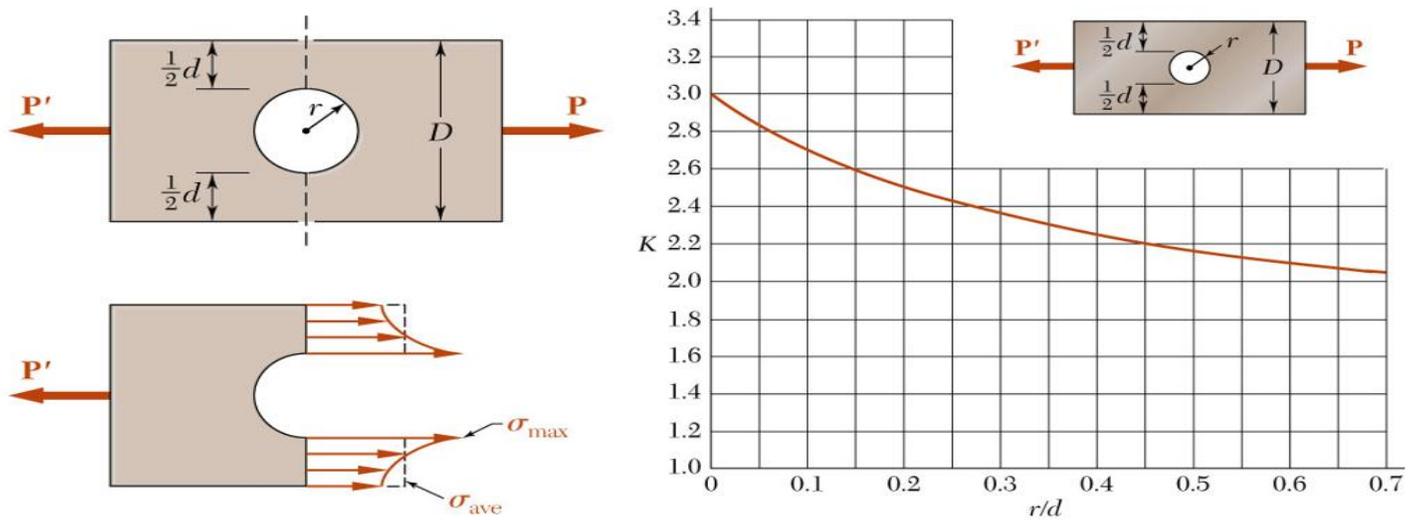


Figure 10: graphe de facteur de concentration de contraintes ([9],)

II.4. Logiciel utilisé pour effectuer des simulation et les tests :

II.4.1. Pourquoi utiliser la modélisation par simulation ?

La modélisation de simulation permet de résoudre des problèmes concrets de façon sûre et efficace. Il s'agit d'une méthode d'analyse importante et qui est facile à vérifier, à communiquer et à comprendre. Quels que soient les secteurs et les disciplines, la modélisation de simulation offre des solutions précieuses en permettant d'avoir une vision claire de systèmes complexes.

Des octets, pas des atomes. La modélisation de simulation consiste à expérimenter en utilisant la représentation numérique valide d'un système. Contrairement à la modélisation physique, par exemple la reproduction à l'échelle d'un bâtiment, la modélisation de simulation se fait par informatique et utilise des algorithmes et des équations. Le modèle d'un système est dynamique et peut être analysé pendant son exécution et même être visualisé en 2D ou en 3D.

II.4.2. abaqus et ansys:

1-abaqus:

Il s'agit d'une suite de logiciels de simulation d'ingénierie puissants, basés sur la méthode des éléments finis, qui peuvent résoudre des problèmes allant des analyses linéaires relativement simples aux simulations non linéaires les plus difficiles. Abaqus possède une vaste bibliothèque d'éléments qui peuvent concevoir n'importe quelle forme géométrique. Il contient une liste tout aussi complète de modèles physiques capables de simuler le comportement des matériaux d'ingénierie les plus typiques, notamment les métaux, le caoutchouc, les polymères, les composites, le béton armé, les mousses fragiles et flexibles et les matériaux géotechniques tels que le sol et la roche. Conçu comme un outil de simulation à usage général, l'Abaqus peut être utilisé pour étudier plus que des problèmes structurels (contrainte/déplacement). Il peut simuler

des problèmes dans des domaines aussi divers que le transfert de chaleur, la diffusion de masse, la gestion thermique des composants électriques (analyse électrothermique couplée), l'acoustique, la mécanique des sols (analyse des contraintes des fluides à double pore) et l'analyse piézoélectrique. Abaqus offre une large gamme de fonctionnalités pour simuler des applications linéaires et non linéaires. Les problèmes avec plusieurs composants sont formés en associant la géométrie qui définit chaque composant avec des modèles physiques appropriés et en définissant les interactions des composants. Dans l'analyse non linéaire, Abaqus sélectionne automatiquement les incréments de charge et les tolérances de convergence appropriés et les ajuste en permanence pendant l'analyse pour garantir une solution efficace et précise. ([9], ,)

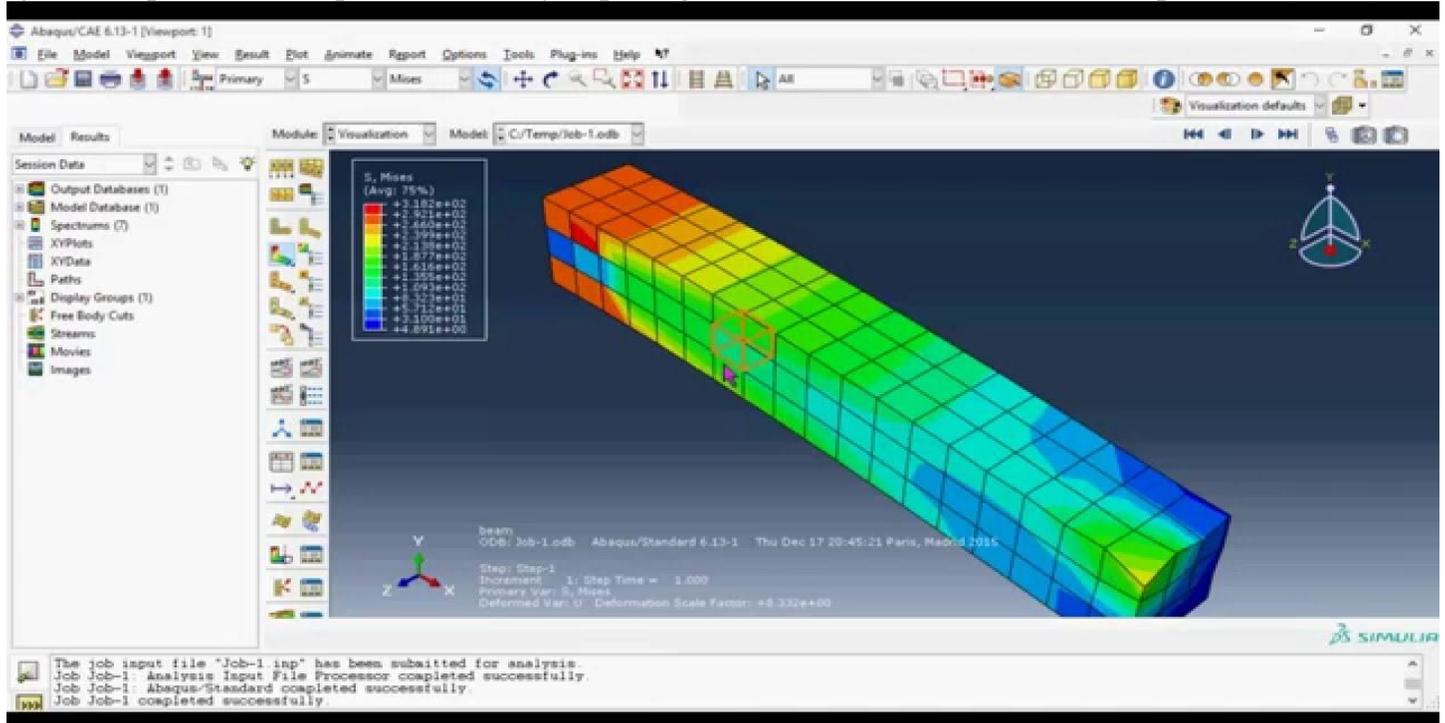


Figure 11:Abaqus

2-Ansys:

Le programme Ansys concerne la résolution de problèmes linéaires et non linéaires pour : la mécanique des structures, la mécanique des fluides, l'acoustique, la thermodynamique, la piézoélectricité et l'électromagnétisme classique. Le programme contient un certain nombre d'éléments pour résoudre des problèmes unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels. Il existe actuellement deux versions du programme : la première est ANSYS Classic et la version graphique (GUI) appelée ANSYS Workbench. ([10], ,)

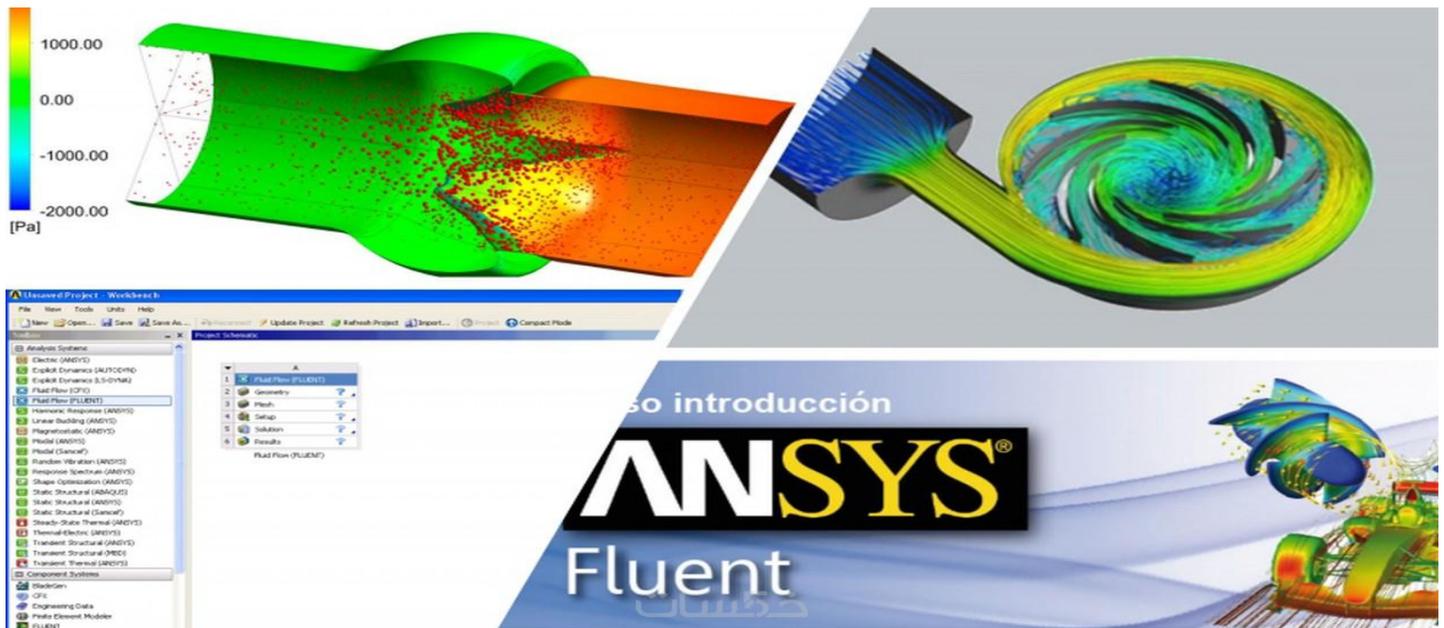


Figure 12: Ansys

Remarque:

Nous n'utiliserons que le programme Ansys, Apaqus a été mentionné car il est également utile pour effectuer des simulations et les mêmes calculs

II.5.Les structure :

Maintenant, nous prenons une pièce de dimensions spécifiques et calculons la contrainte maximale par le graphe de Kt et comparons avec la contrainte maximale extraite par analyse APDL(Ansys parametric design language) avec différents meshes :

Dimension de la pièce L=200mm ,l=100mm ,t(Épaisseur)=5mm le rayon varie de manière { 10-15-20-25 } mm , la pression appliquée (traction dans la direction x) = 40 KN , donc la contrainte moyenne est :

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{F}{l \times t} = \frac{40\text{K}}{100 \times 5} = 80 \text{ MPA}$$

$$*\sigma_{\text{max}} = K_t \times \sigma_{\text{nom}} \quad \text{(II.2)}$$

II.6.l'essayer :

Tableau II.1:

T=5mm								
Element D (mm)	d/l	σ_{nom} (MPA)	K_t	σ_{max} (MPA) analytique calcul	σ_{max} (MPA) Ansys mesh=3	σ_{max} (MPA) Ansys mesh=2	σ_{max} (MPA) Ansys mesh=1	Kt par ansys mesh=0.5
10	0.1	88.88	2.72	241.75	234.52	236.75	238.18	2.69
15	0.15	94.11	2.61	245.62	238.69	239	241.74	2.608
20	0.2	100	2.51	251	243.25	243.90	247.47	2.519
25	0.25	106.66	2.42	258.13	249.59	249.02	254.71	2.434

II.6.1.Les valeure avec Mesh très fin =0.5:

Tableau II.2:

Diameter(mm)	σ_{max} (MPA) Ansys mesh=0.5	Nombre delement dant la piece(approximation)* 10^3
10	239.891	80
15	245.498	79
20	251.97	78
25	259.70	77.5

II.6.2.comparaison entre mesh 3 et 1:

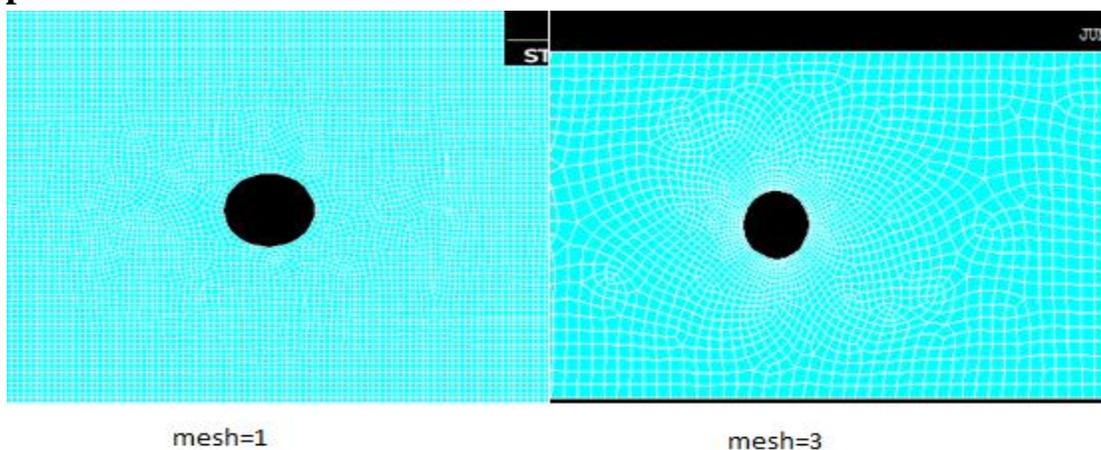


Figure 13:mesh 3 et 1

II.6.3. Indication de la façon d'extraire la contrainte maximale :

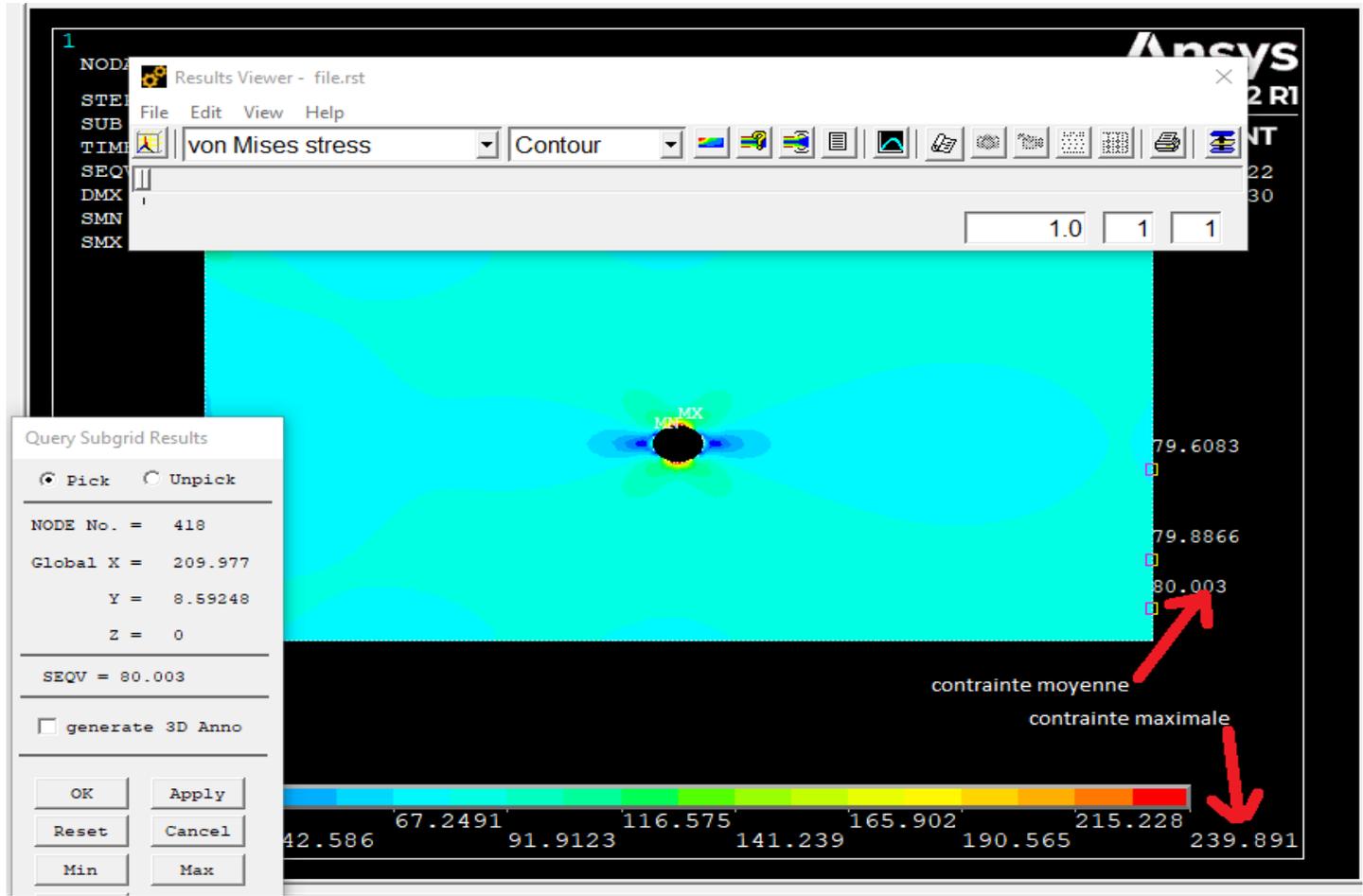


Figure 14: la contrainte moyenne et maximale dans Ansys APDL

les zone critique:

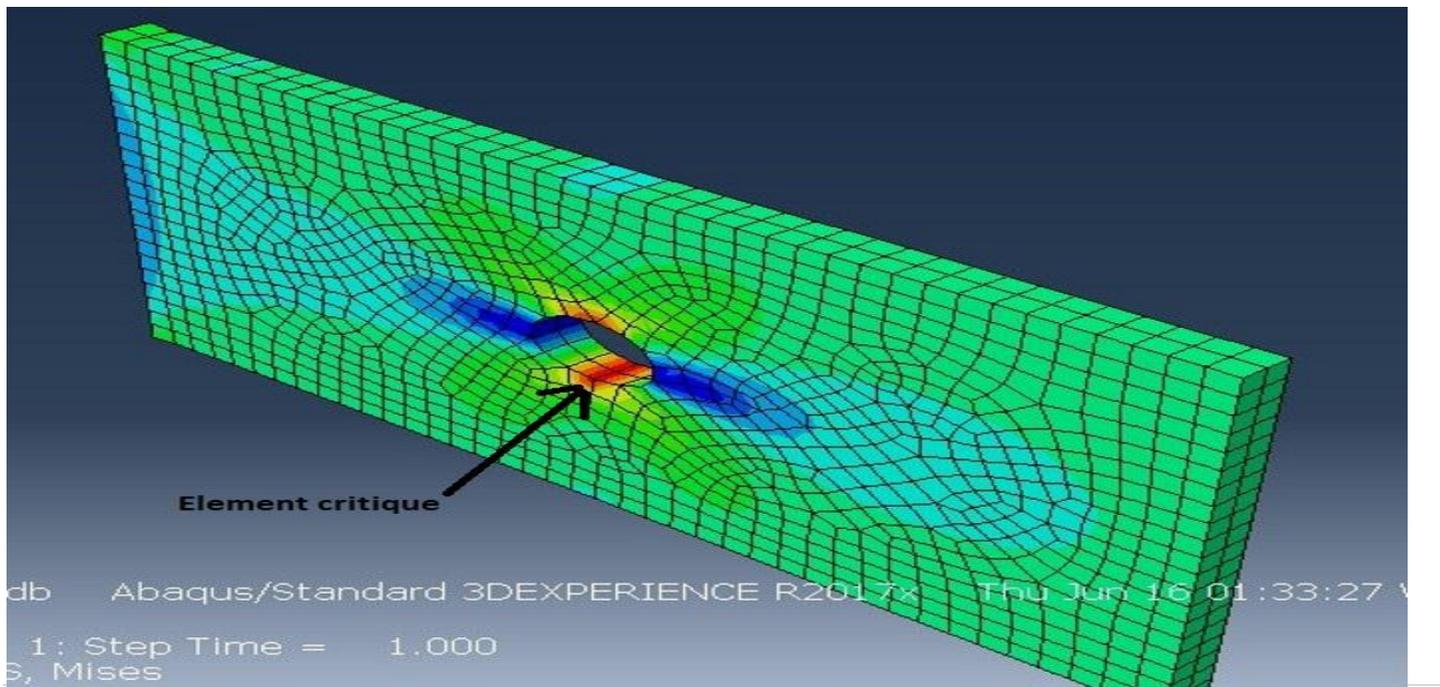


Figure 15: Image 3D montrant l'élément critique

Note:

Pour faire la comparaison entre les different valeur :si on change uniquement lepiseure de 5 a 10 a 15 ...ect, en optenie **des resultas de la contrainte maximale plus petits avec chaque essai**par exemple en fixe la presion dans 40KN danc

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{40K}{100 \times 10} = 40 \text{MPA} \quad \text{la contrainte sa diminiue}$$

Tableau II.3:

Correspondant a la note avec $\sigma_{\text{moy}}=40\text{MPA}$, $F=40\text{KN}$, $t=10\text{mm}$

Element Diameter (mm)	d/l	σ_{nom} (MPA)	K_t	σ_{max} (MPA) Analytique calcul
10	0.1	44.44	2.72	120.87
15	0.15	47.05	2.61	122.80
20	0.2	50	2.51	125.5
25	0.25	53.33	2.42	129.06

II.7.Comparer et observer de l'essayer :

Comparer entre les résultats de chaque mesh de contrainte maximale calculer par ansys APDL avec la contrainte maximale calculer par le facteur de concentration de contrainte analytiquement, est comparie entre K_t calculer analytiquement et celle obtenue à partir d'Insys :

II.7.1.comparaison graphique:**1) ordre de maillage en fonction de la contrainte maximale**

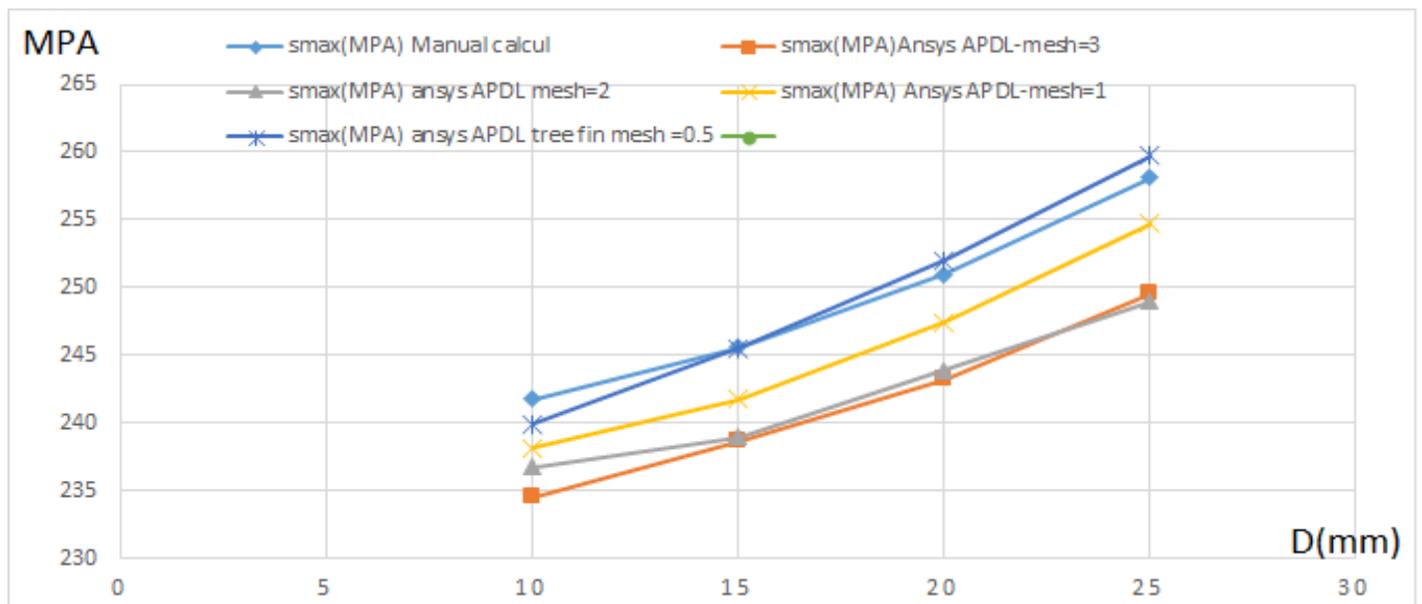


Figure 16: ordre de maillage en fonction de la contrainte maximale

Comparaison:

Notons que les résultats de la contrainte maximale Elle converge avec les résultats obtenus par la courbe de concentration de contraintes Chaque fois que nous choisissons plus petite mesh , C'est ce que montre dans la courbe de comparaison

2) kt calcule par ansys et kt analytique calculi:

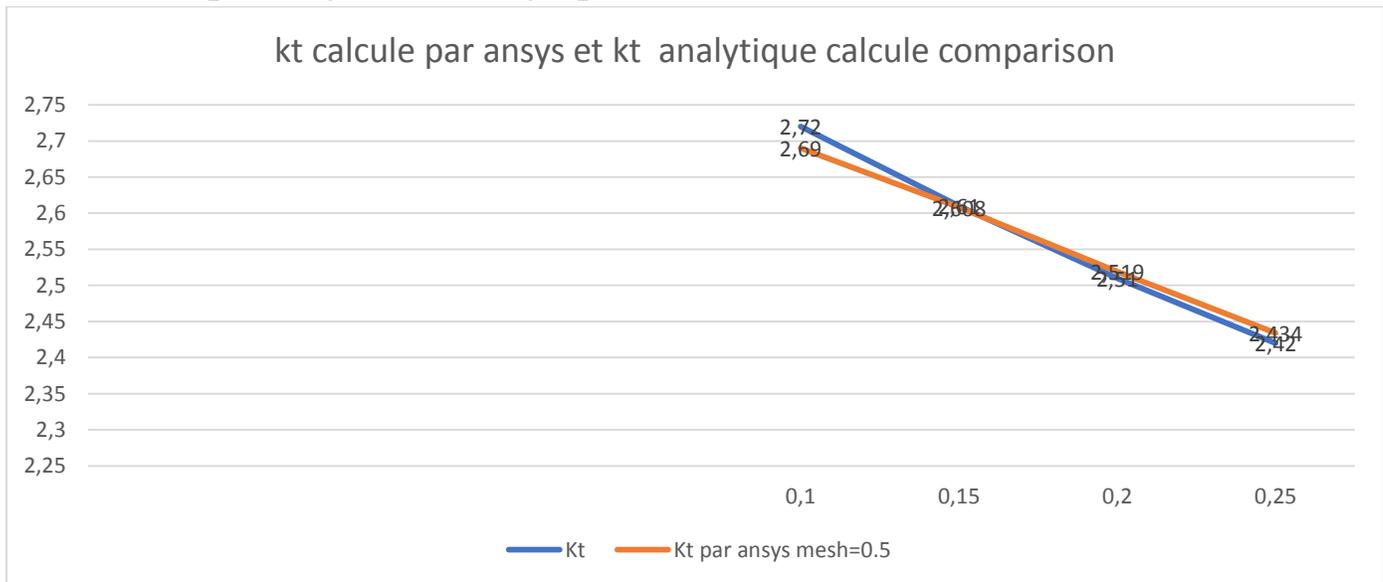


Figure 17: kt calcule par ansys et kt analytique

Comparaison:

On remarque que les deux courbes sont quasiment identiques, et on constate que plus le rapport entre le diamètre et la longueur du piece (d/l) est grand, plus la valeur de la contrainte de concentration de contrainte et diminue

Note generale pour cette chapitre:

La conclusion de la comparaison et de l'observation : Nous notons qu'entre faire le calcul direct (manual) en utilisant le schéma de Kt elle prend un peu plus de temps et les résultats ne sont pas nécessairement précis et les formes des pièces restent limitées, il doit donc y avoir des expériences précédentes pour extraire la courbe de Kt pour la pièce sur laquelle nous travaillons. En ce qui concerne le travail avec le programme de simulation Ansys APDL, il reste une grande différence et une grande flexibilité dans le travail et la modification des données, et les formes des pièces qui peuvent être conçues et calculer la concentration de contraintes maximale sont presque illimités.

Chapitre III

Calcul de durée de vie en fonction de facteur de concentration de contraintes

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons calculer la durée de vie de la pièce en fonction du facteur de concentration de contraintes. Pour ce faire on utilise deux structures rectangulaire présentant un défaut de forme au centre (cercle et ellipse). Ces structures seront soumises à une charge monotone superposée à une traction cycliques. Les conditions aux limites ainsi que la géométrie sont exploitées par le code Ansys afin de déterminer les paramètres du critère de Crossland, surtout dans les zones de fortes concentration de contraintes.

III.2.Caractéristiques du matériau SM 45C:

L'acier (SM45C) est utilisé pour fabriquer des arbres de transmission automobiles. Les propriétés matérielles de l'acier (SM45C) sont données dans le figure 5 :

σ_e (MPa)	σ_u (MPa)	E (GPa)	G (GPa)	ν	A %
638	824	213	82.5	0.29	22

Figure 18:acier (SM45C) proprietes

III.2.1.Composition chimique de l'acier SM 45C:

Element	Content (wt%)
C	0.42–0.48
Si	0.15–0.35
Mn	0.60–0.90
P	≤0.030
S	≤0.035
Ni	≤0.20
Cr	≤0.20
Fe	Bal
Others	Cu≤0.35, Ni + Cr≤0.35

Figure 19:sm45c composition

III.2.2. Courbes de fatigue de l'acier SM 45C :

Limite d'endurance en torsion et flexion alternée symétrique :

$$\tau_{-1} = 311 \text{ MPa}$$

$$f_{-1} = 442 \text{ MPa}$$

-Nombre de cycles correspondant à une durée de vie limitée N_I (Cycles): 81254

-Nombre de cycles correspondant à une durée de vie illimitée N_k (Cycles): 10^7

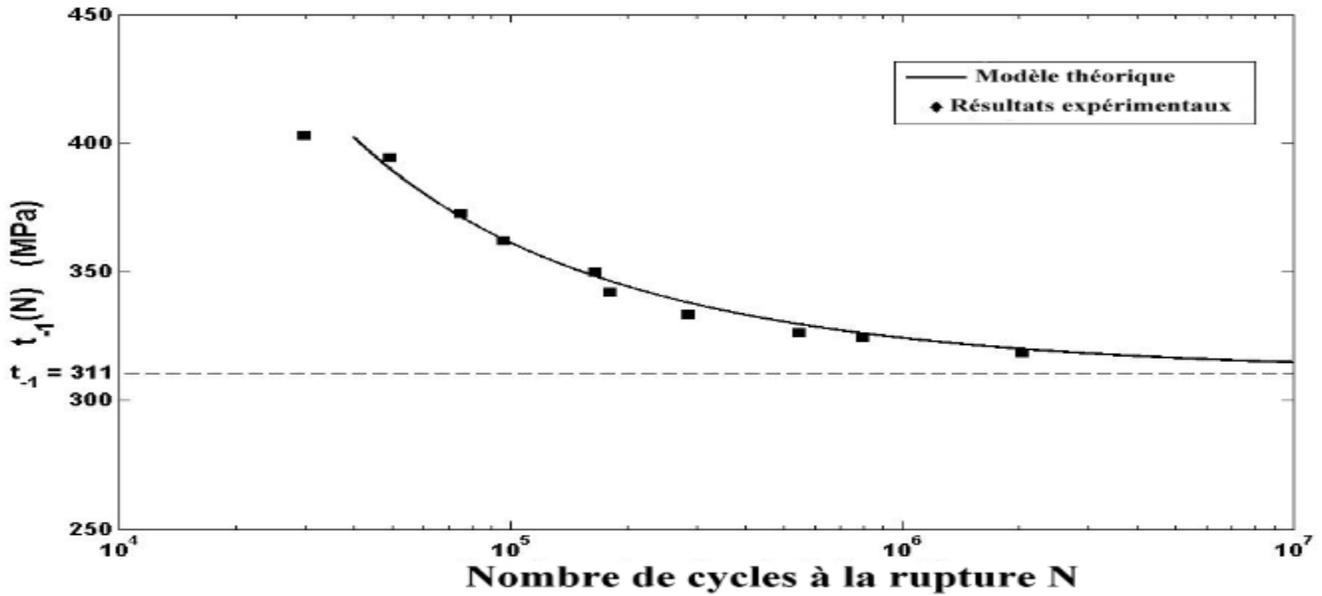


Figure 20: Courbe de fatigue en torsion purement alternée de l'acier SM 45C.

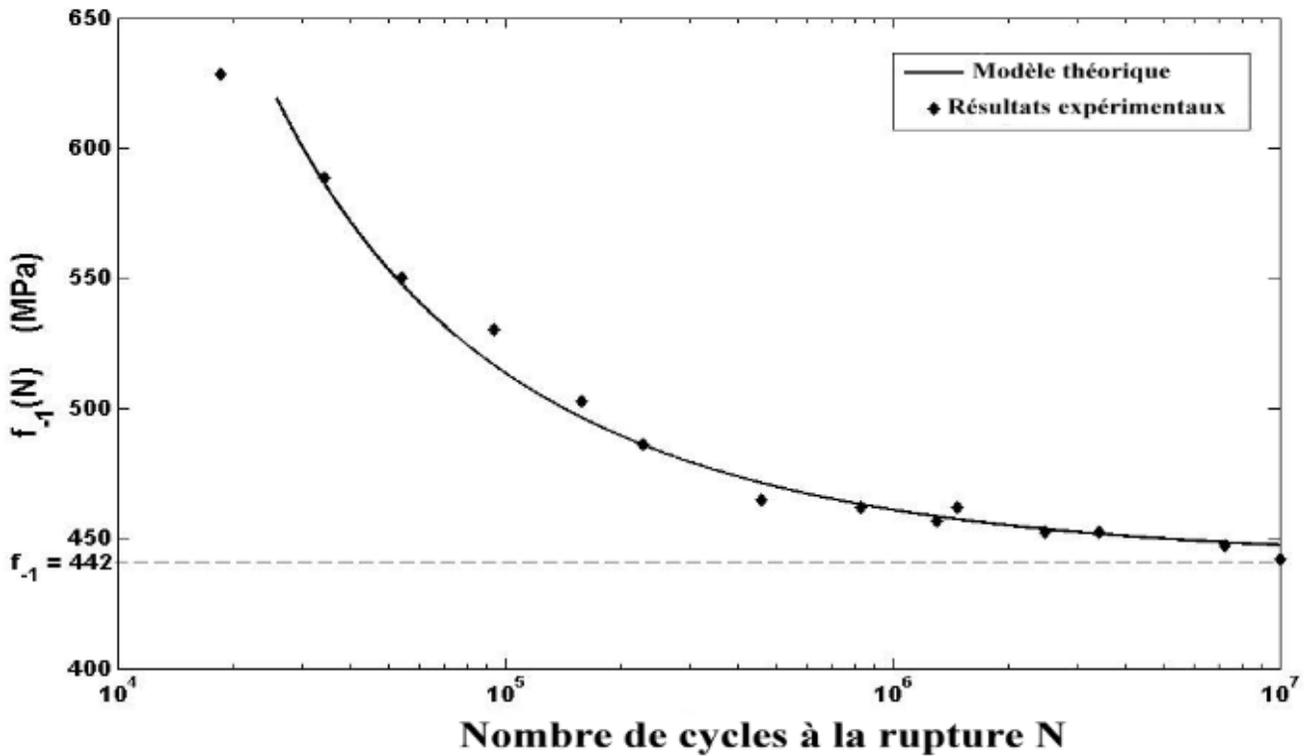


Figure 21: Courbe de fatigue en flexion purement alternée de l'acier SM 45C. ([11],)

III.3.Diagramme de Crossland pour SM 45C :

*Pour un nombre de cycles correspondant à une durée de vie illimitée ($N = N_k=10^7$) a la limite d'endurance donc : **a=0.3788** et **b=311** .

* Pour un nombre de cycles correspondant à une durée de vie limitée ($N = N_l= 81254$), pour calculer Limite de fatigue à N_l cycles en torsion alternée et Limite de fatigue à N_l cycles en flexion alternée:

$$\tau-1 (N)=368.34 \quad \text{et} \quad f-1 (N)=523.506$$

En remplace les résultats obtenu donc on obtenue : **a=0.3788** et **b=368.34**
donc:

Droite limite du domaine de durée de vie limitée:

$$\xi a + 0.3788 P_{max} \leq 368.34 \quad (\text{III.1})$$

Droite limite du domaine de durée de vie illimitée:

$$\xi a + 0.3788 P_{max} \leq 311 \quad (\text{III.2})$$

III.3.1.Représentation du diagramme de Crossland:

Le domaine de validité du critère de Crossland s'articule sur la zone à endurance limitée de la courbe de Wholer en torsion nalternée. La figure 22 représente les droites limites du domaine de la durée de vie limitée, en utilisant l'équation du critère (I-5). A 10^7 cycles en trace la droite limite de durée de vie illimitée, et à 10^4 cycles, on trace la deuxième droite indiquant la limite de durée de vie limitée.

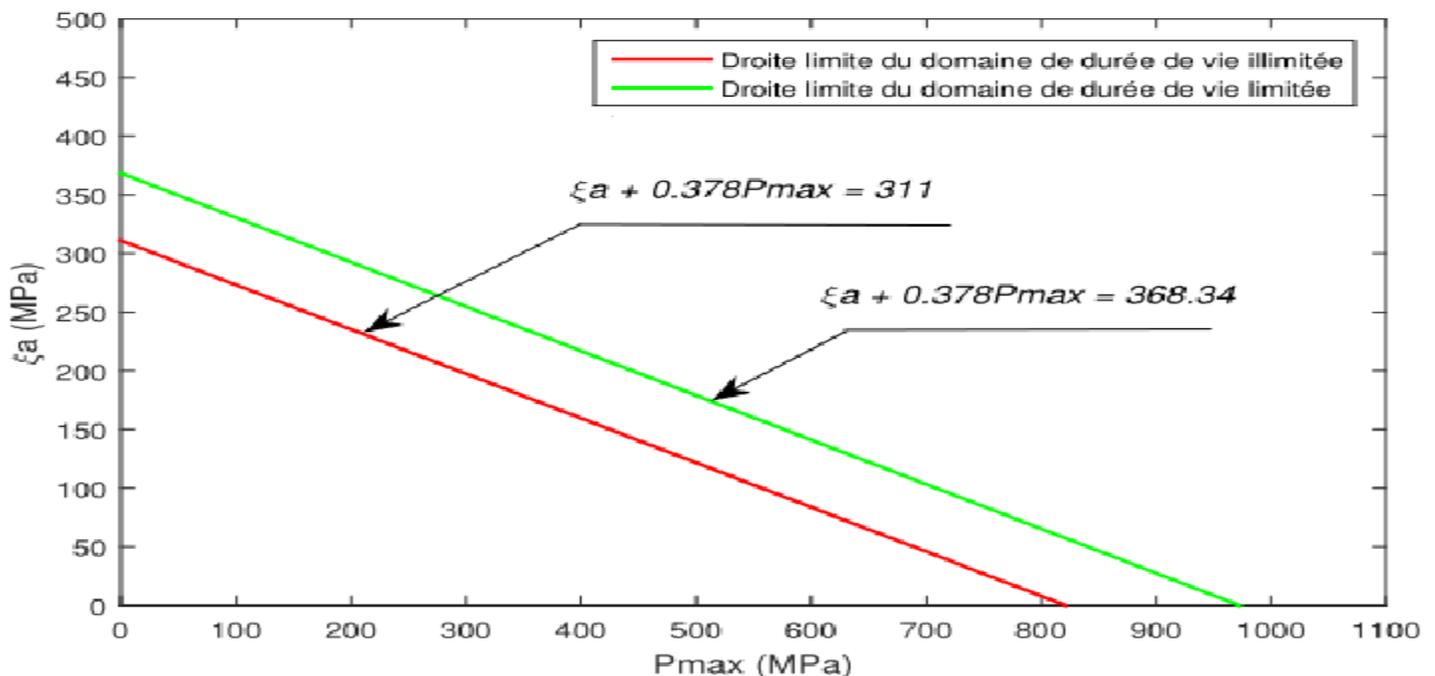


Figure 22: Représentation du diagramme de Crossland ([12].)

III.4. Calcul de durées de vie des structures:

III.4.1. Cas d'une plaque avec trou:

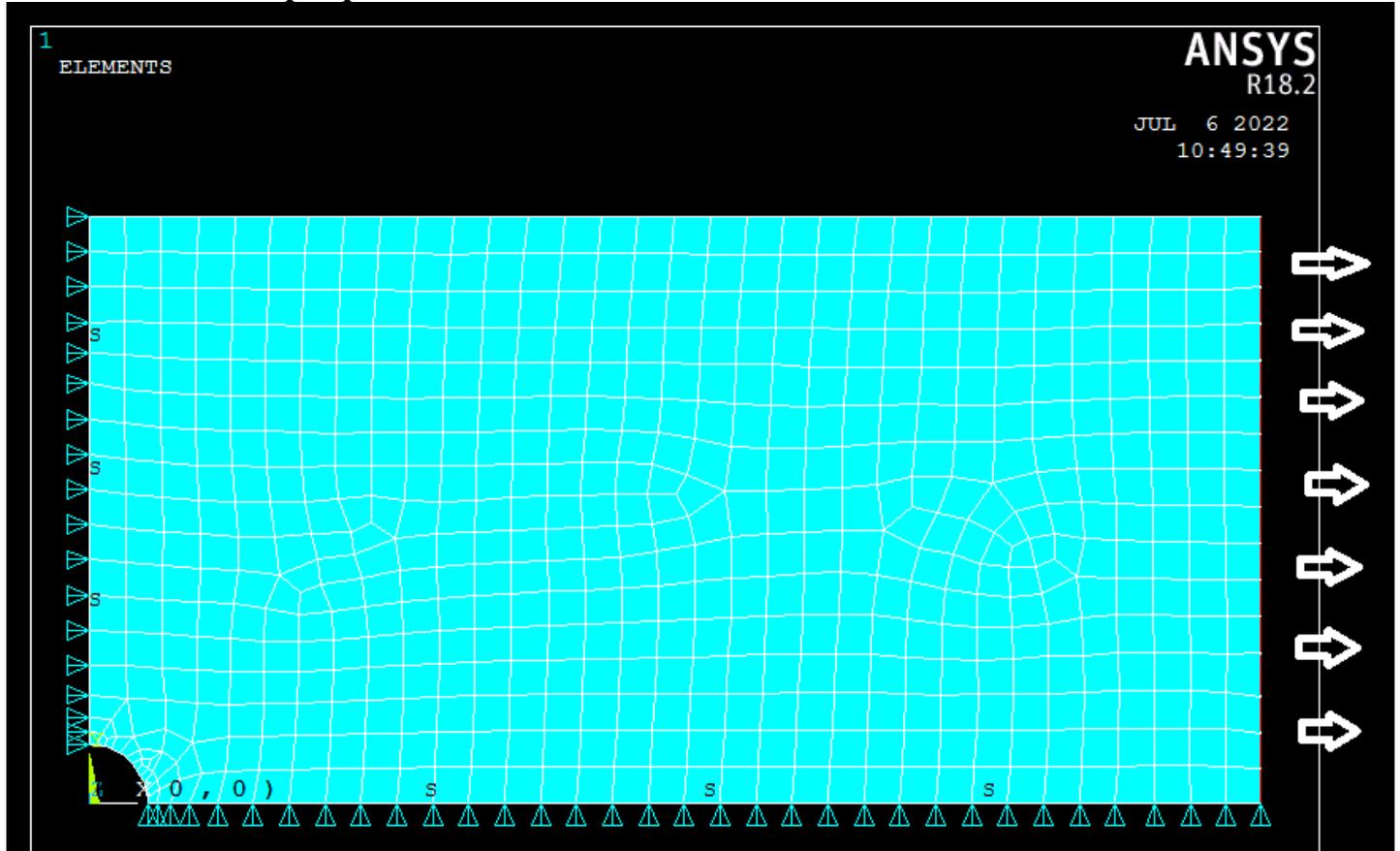


Figure 23: Cas d'une plaque avec trou

Tableau III.1 :

Par ANSYS : $\sigma_m = 100\text{MPa}$, $\sigma_a = 90\text{MPa}$, $t=5\text{mm}$

Les résultats de simulations sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Elements D(mm)	Pmax(MPa)	ξa (MPa)	σ_{eq} (MPa) de Crossland	σ_{eq} VOM MISES (MPa)	Kt
10	167.07	257.14	320.43	256.81	2.55
16	173.8	260.35	326.18	259.74	2.42
20	172.21	264.88	330.11	266.435	2.36
25	177.12	278.19	345.28	277.222	2.31

Les paramètres de Crossland (P_{max} , x_{ia} et contraintes équivalente) sont représentés dans cette figure en fonction des différents diamètres des trous.

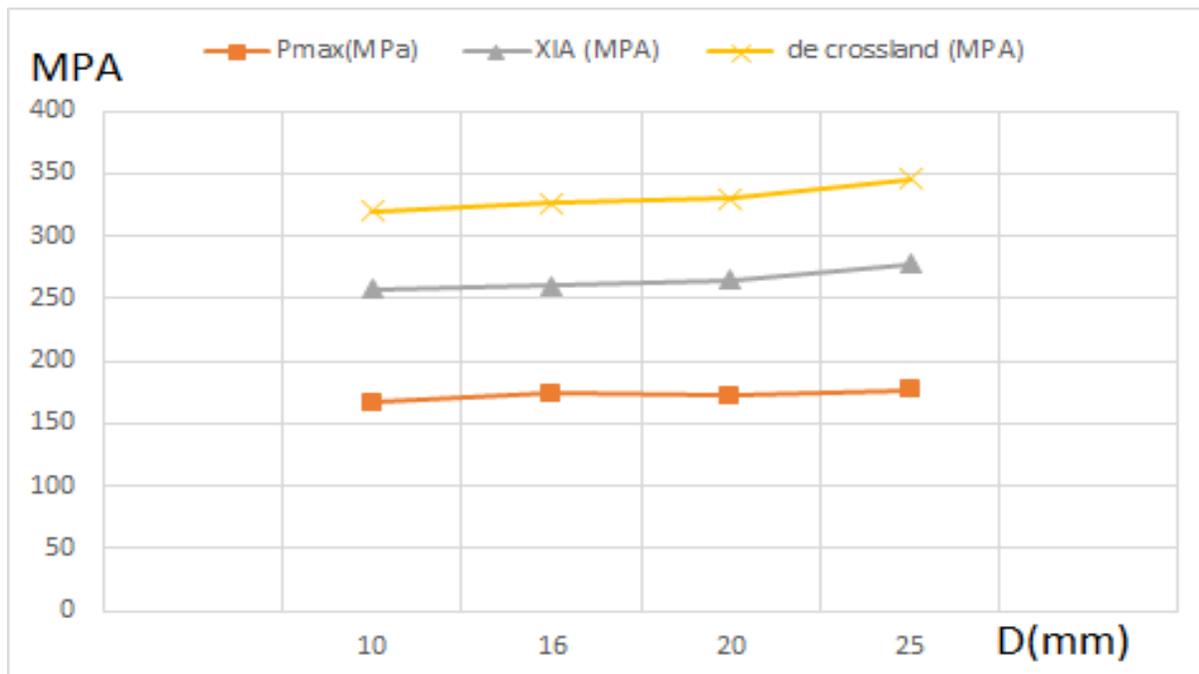


Figure 24: les courbes de L'expérience n°1

On constate que les courbes des paramètres du critère de crossland augmentent linéairement en fonction du diamètre de trou, et à partir de diamètre 10 mm, on remarque une variation de ces paramètres, cela s'explique par le fait que lorsque le diamètre du trou augmente, il se produit une diminution de la section résistante, ce qui produit de concentration de contraintes.

Tableau III.2 :

Par ANSYS : $\sigma_m = 110\text{MPa}$, $\sigma_a = 95\text{MPa}$, $t=5\text{mm}$

Elements D(mm)	Pmax(MPa)	ξa (MPa)	σ_{eq} (MPa) de Crossland	σ_{eq} VOM MISES (MPa)	Kt
10	181.15	280.74	349.49	271.077	2.55
16	187.52	280.90	351.93	274.16	2.42
20	185.81	285.79	356.17	281.237	2.36
25	191.10	300.15	372.54	292.62	2.31

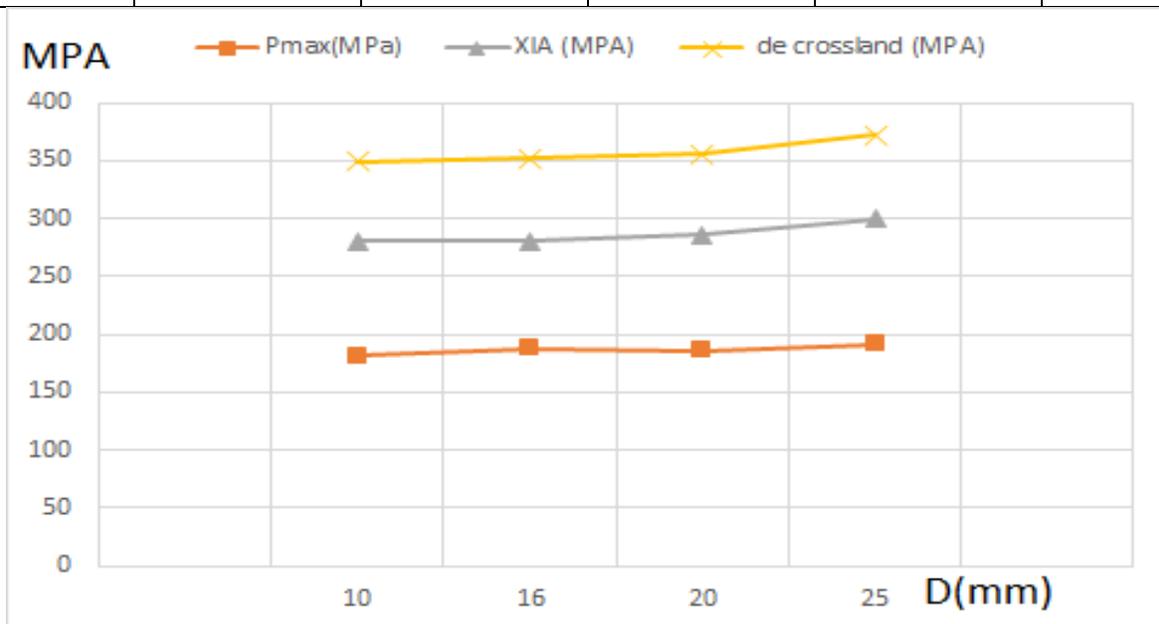


Figure 25: les courbe de L'expérience n°2

Dans cette expérience on constate que les valeurs des paramètres de Crossland Pmax , ξa et σ_{eq} sont affectées par l'augmentation des charges appliquées, ou chaque paramètre croit d'une façon linéaire, en fonction du diamètre du trou. Cela est du à la concentration des contraintes aux niveaux du périmètre (supérieur et inférieur) du cercle du trou.

Observation :

Les valeurs des Pmax , ξa et σ_{eq} il n'est pas affecte par l'épaisseur de la pièce , mais est affecte par la force appliquée à la pièce comme indique sur les deux tableaux, on obtient les valeurs de Crosland qui dépassent 368 Et moine de 311(Nous catégorisons différemment) selon cette condition :

$$\xi a + 0.3788 Pmax \leq 368.34 ,$$

$$\tau_{-1} = \frac{311}{1-62.3 \cdot Ni^{-0.53}} \quad (\text{III.3})$$

$$Ni = \left(\frac{\tau_{-1} - 311}{\tau_{-1} \cdot 62.3} \right)^{-\frac{1}{0.53}} \quad (\text{III.4})$$

Calcul la durée de vie :

En utilisant la relation (III.4)

1^{ere} chargement :

Tableau III.3 :

$\sigma m = 100MPa$, $\sigma a = 90MPa$, $t=5mm$

D(mm)	10	16	20	25
$\sigma eq(MPa)$ crossland	320.43	326.18	330.11	345.28
Ni (cycle)	1883317	793202	525460	189900
Kt	2.55	2.42	2.36	2.31

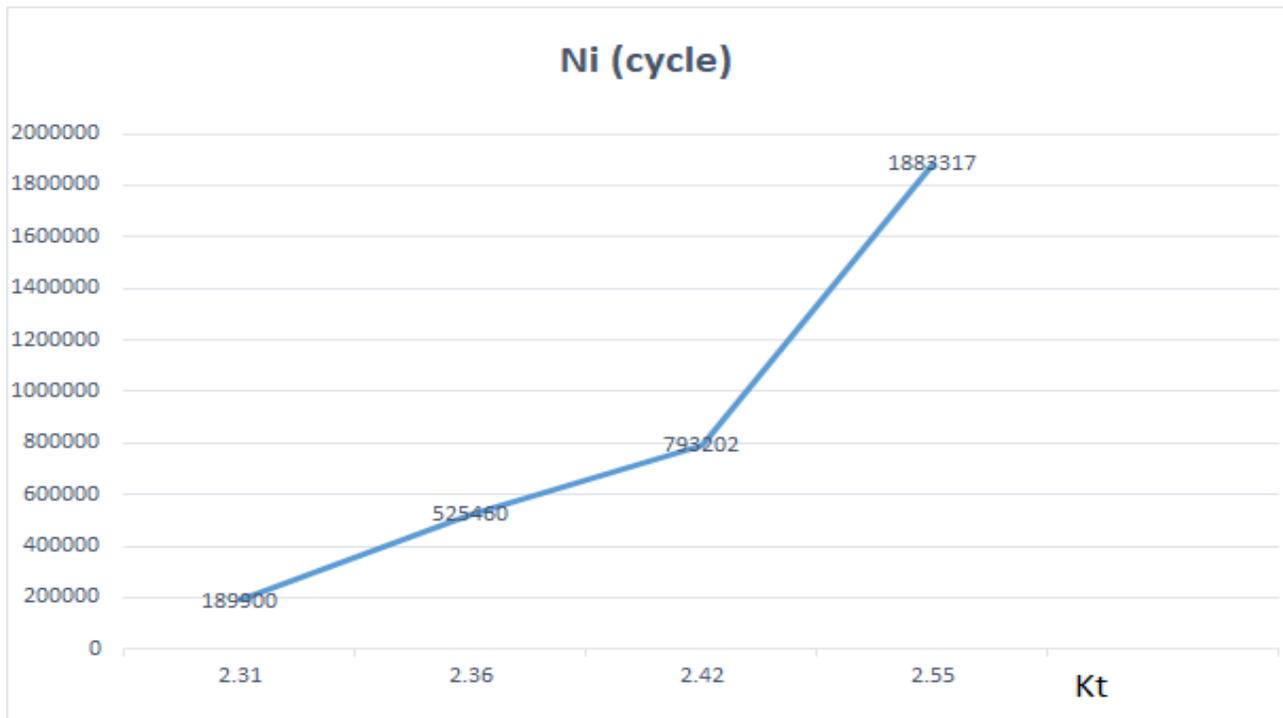


Figure 26: Ni (cycle) a fonction de la contrainte équivalente de crossland pour le 1 chargement

La figure ci-dessus montre l'évolution du nombre de cycles (durée de vie) en fonction du facteur de concentration de contraintes. On remarque que la courbe est dévisée en deux parties, la première partie, montre que le nombre de cycles croit d'une façon progressive entre 189 900 cycles et 793 202 cycle. Dans la deuxième partie l'évolution est remarquable vu l'augmentation du Kt (2,42 à 2,55), dant cette partie on remarque une convergence des valeurs du nombre de cycles, vers une asymptote, cela s'explique par l'augmentation du champs de contraintes puis la section de résistance devient faible au fur et à mesure que le diamètre du trou augmente.

Tableau III.4 :

1) $\sigma_m = 110\text{MPa}$, $\sigma_a = 95\text{MPa}$, $t=5\text{mm}$

D(mm)	10	16	20	25
$\sigma_{eq}(\text{MPa})_{\text{crossland}}$	349.49	351.93	356.17	372.54
Ni (cycle)	156148	141059	119650	72665
Kt	2.55	2.42	2.36	2.31

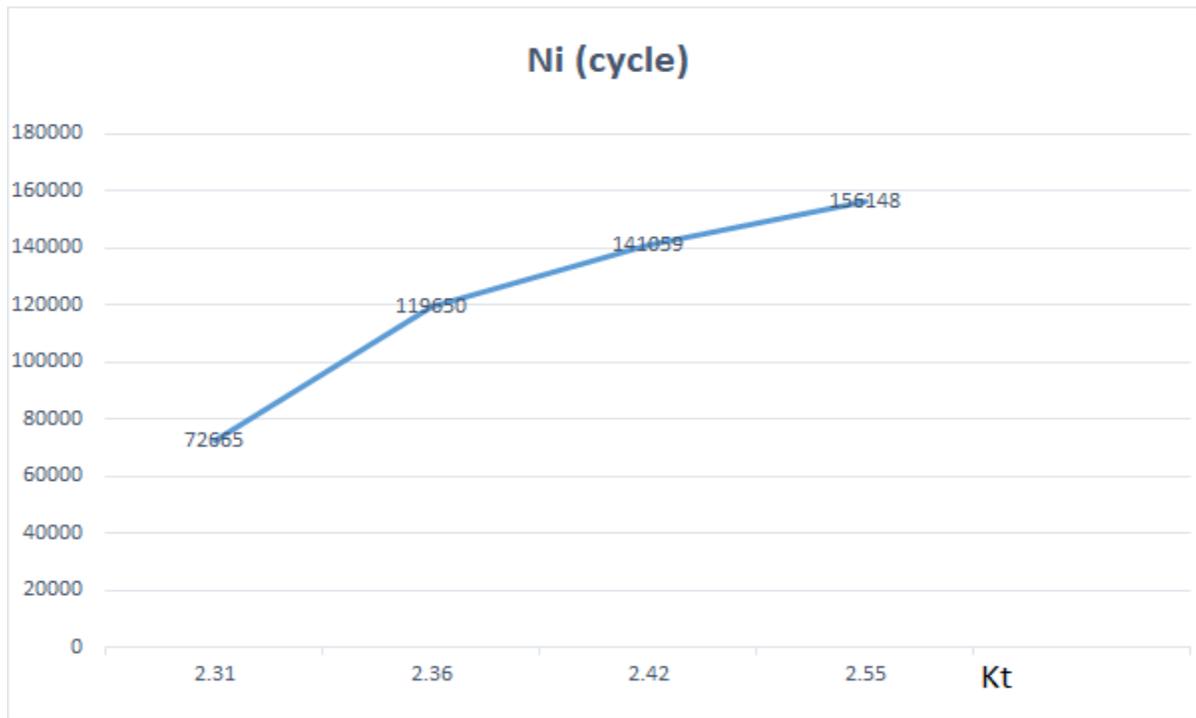


Figure 27: Ni (cycle) a fonction de la contrainte équivalente de crossland pour le2 chargement

Dans cette expérience, la coube d'évolution de la durée de vie montre une augmentation linéaire entre 72 665 cycles et 156 148 cycles, et le nombre de cycles augmente avec le Kt.

III.4.2. Cas d'une plaque avec ellipse :

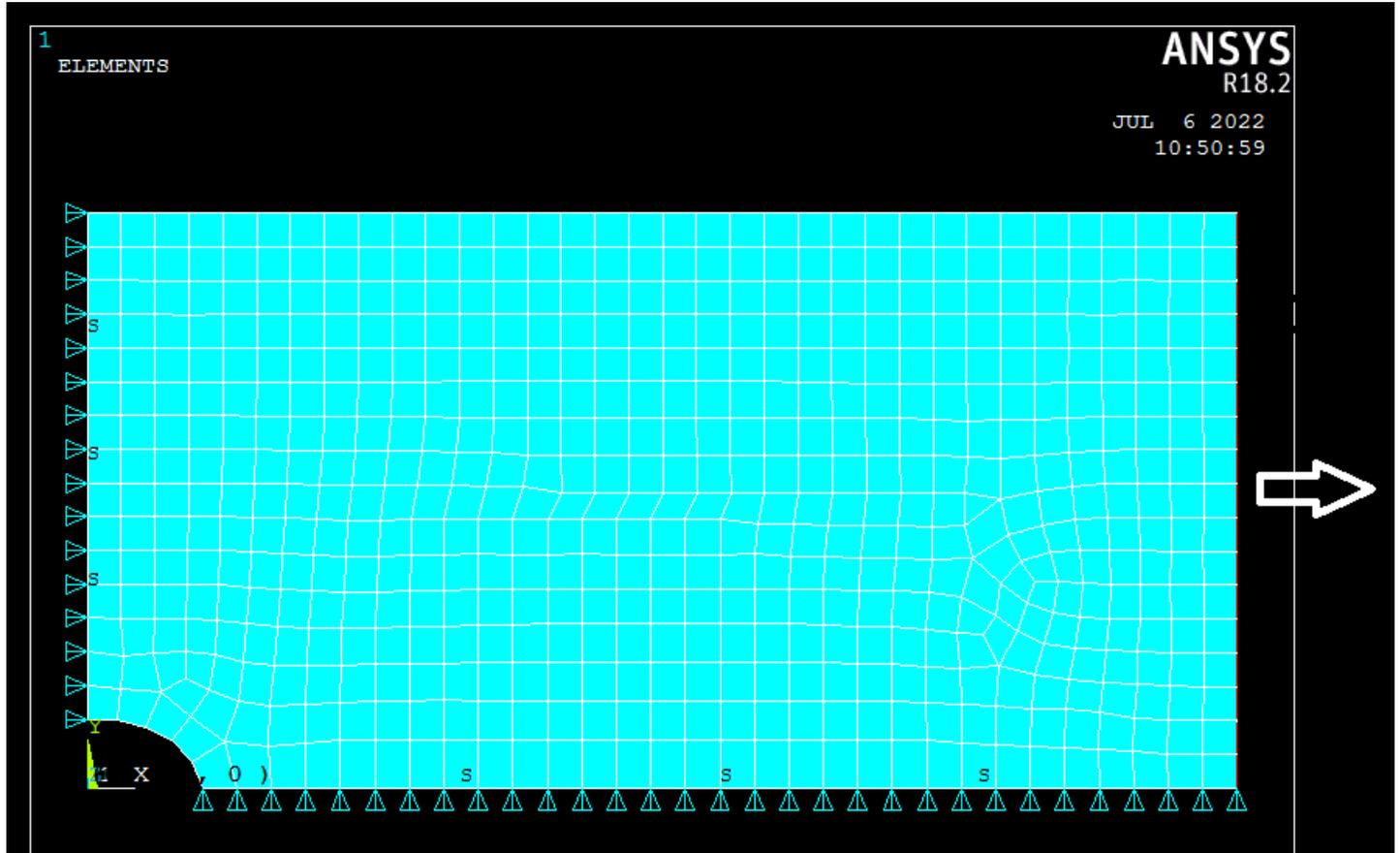


Figure 28: Cas d'une plaque avec ellipse

Tableau III.5:

Par ANSYS

Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau suivant :

$$\sigma_m = 100\text{MPa} , \sigma_a = 90\text{MPa} , t=5\text{mm}$$

Elemets		Pmax(MPa)	ξa (MPa)	σ_{eq} (MPa) de crossland	σ_{max} (MPa)	σ_{nom} (MPa)	Kt
R1	R2						
10	17	162.84	231.86	292.11	318.57	120.48	2.64
15	20	170.45	249.84	312	319.99	125	2.55
20	23	173.31	263.06	327.21	320.23	129.87	2.46
25	23	178.47	275.53	341.56	321.6	135.13	2.37

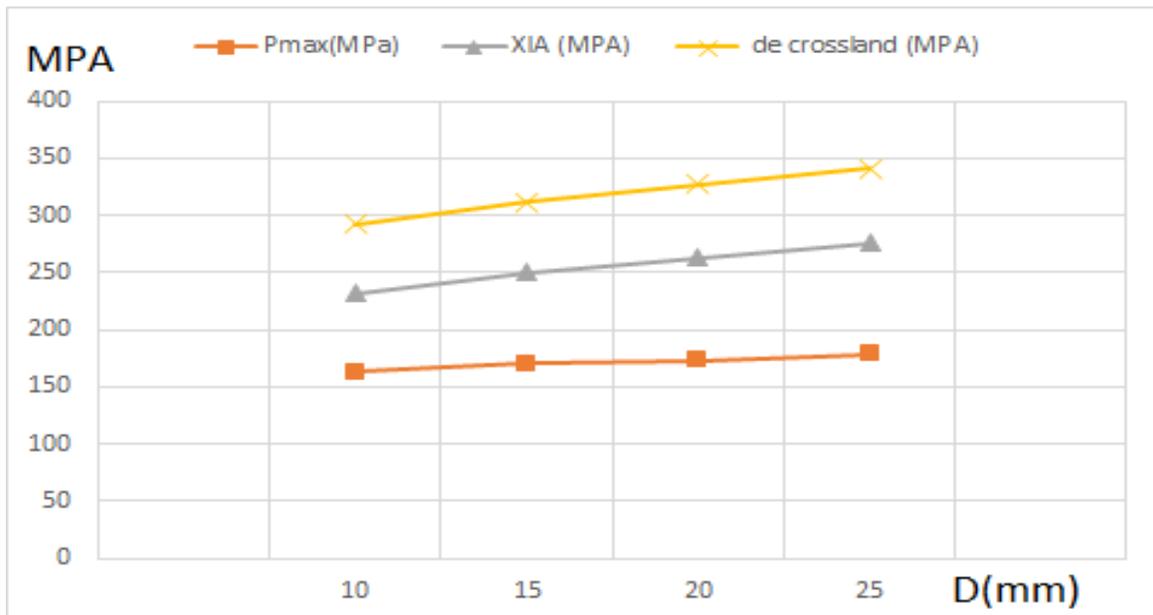


Figure 29: Expérience n°1

Observation :

On remarque que plus les dimensions de l'ellipse augmentent, plus le Kt diminue avec lui.

Tableau III.6:

Par ANSYS

$\sigma_m = 110\text{MPa}$, $\sigma_a = 95\text{MPa}$, $t=5\text{mm}$

Elemets		Pmax(MPa)	ξa (MPa)	σ_{eq} (MPa) de crossland	σ_{max} (MPa)	σ_{nom} (MPa)	Kt
R1	R2						
10	17	175.7	250.17	315.17	350.42	132.53	2.64
15	20	183.91	269.56	337.61	351.99	137.5	2.55
20	23	187.07	283.83	353.03	352.25	142.85	2.46
25	26	192.56	297.28	368.53	353.76	148.6	2.37

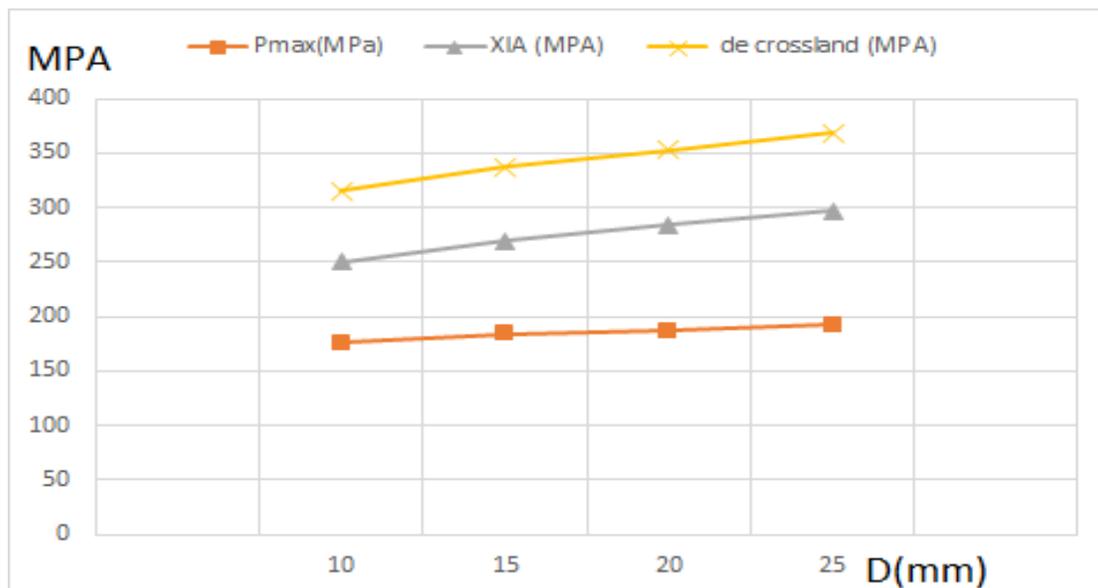


Figure 30:Expérience n°2

On remarque d'après les deux expériences, que les paramètres de Crossland sont affectés par l'entaille représentée par l'ellipse. On constate aussi que l'augmentation des charges appliquées provoque l'accroissement des valeurs du critère de Crossland.

Calcul la durée de vie :

En utilisant la relation suivante : $N_i = \left(\frac{\tau_{-1} - 311}{\tau_{-1} * 62.3} \right)^{-\frac{1}{0.53}}$

Tableau III.7:

1) $\sigma_m = 100MPa$, $\sigma_a = 90MPa$, $t=5mm$

D(mm) Elements	D1	10	15	20	25
	D2	17	20	23	26
$\sigma_{eq}(MPa)$ crossland		292.11	312	327.21	341.56
Ni (cycle)		HD	123531742	721658	231087
Kt		2.64	2.55	2.46	2.37

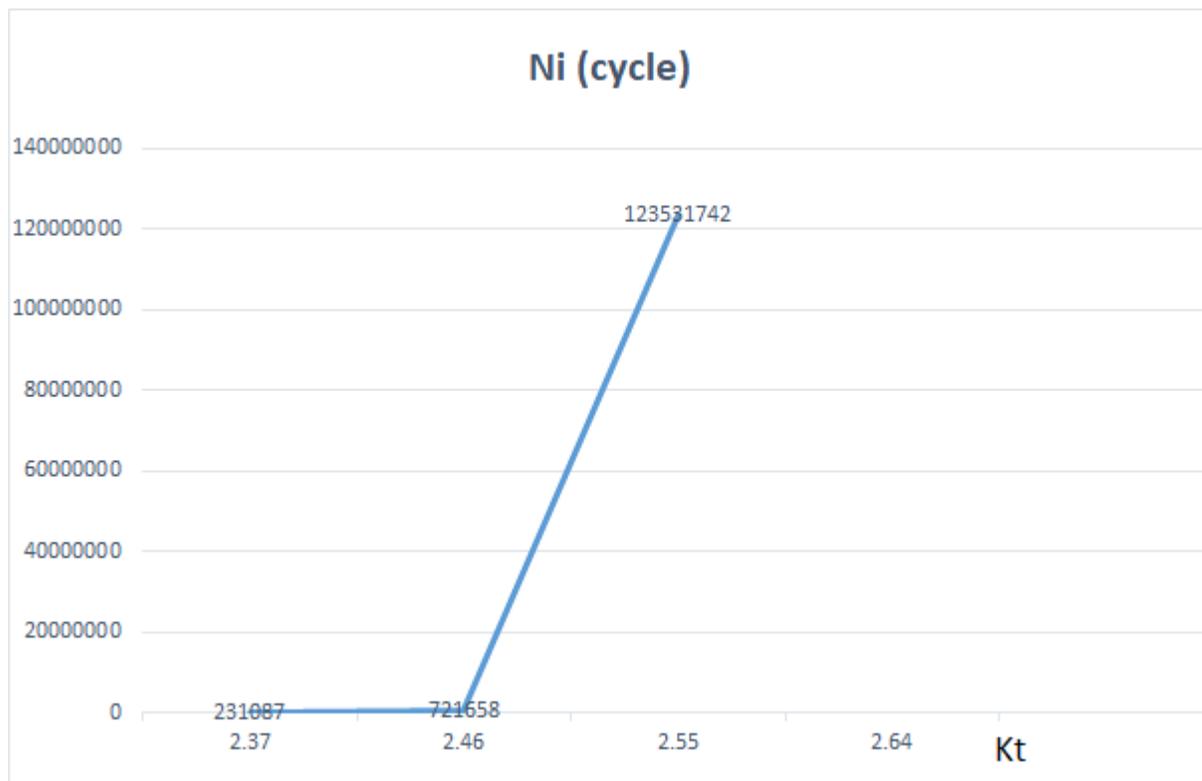


Figure 31: Représentation graphique de Kt en fonction de Ni(cycle)

$$Ni = \left(\frac{316.27 - 311}{316.27 * 62.3} \right)^{-\frac{1}{0.53}} = 123531742 \text{ cycle.}$$

Tableau III.8:

2) $\sigma_m = 110 \text{ MPa}$, $\sigma_a = 95 \text{ MPa}$, $t = 5 \text{ mm}$

D(mm) Elements	D1	10	15	20	25
	D2	17	20	23	26
$\sigma_{eq}(\text{MPa})$ crossland		315.17	337.61	353.03	368.53
Ni (cycle)		8511264	293533	134802	80848

Kt	2.64	2.55	2.46	2.37
----	------	------	------	------

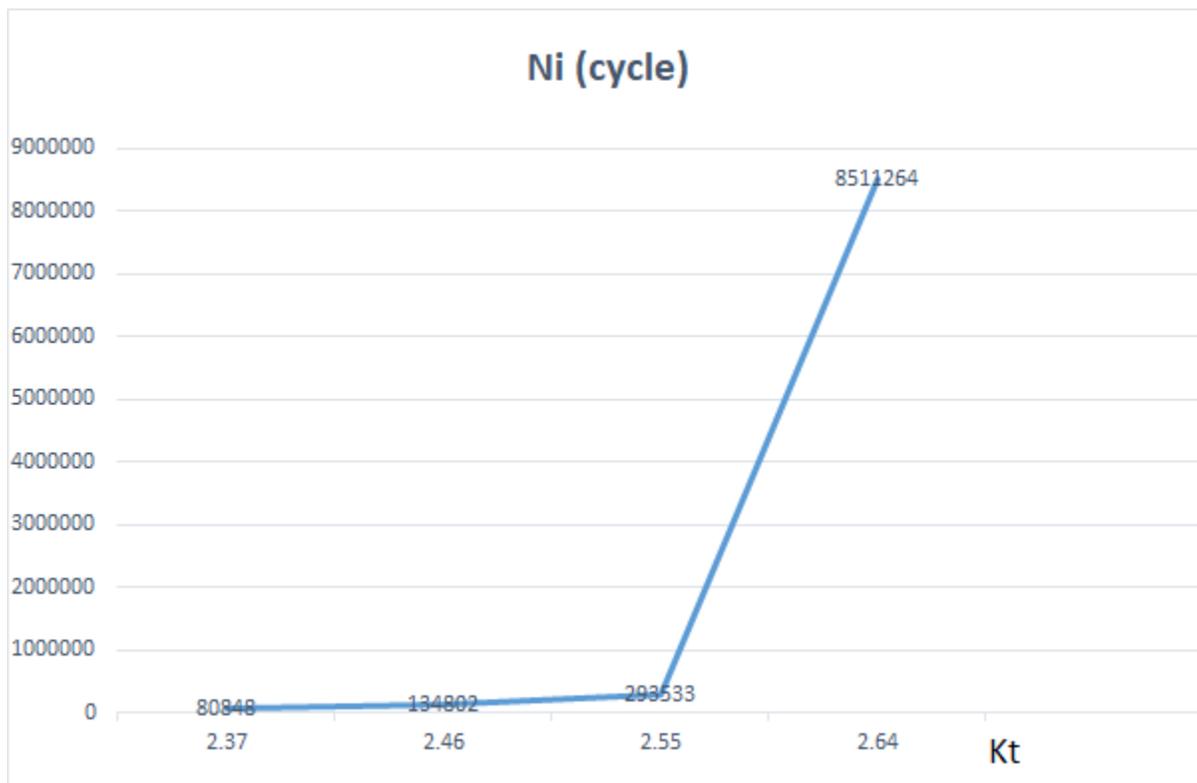


Figure 32: Représentation graphique de Kt en fonction de Ni(cycle)

Observation :

On remarque sur cette courbe que la valeur la plus élevée est 851 1264 cycle (D1=10,D2=17).

Conclusion :

Par expérience, il a été constaté que la durée de vie de la pièce n'est pas liée à l'épaisseur, mais à la force qui lui est appliquée, et plus la force appliquée est grande, plus le nombre de cycle est petit et vice versa.

Conclusion generale :

L'objectif de cette étude est d'établir une relation entre la durée de vie d'une structure, en fonction du facteur de concentration de contrainte, vu que la majorité de pièces mécaniques se caractérisent par de défauts de forme. Pour ce faire nous avons pris une plaque rectangulaire présentant de trous et ellipse avec de dimensions différentes, de nuance SM 45C. La plaque est sollicitée par une traction monotone superposée à une autre alternée, après l'introduction des conditions aux limites, via le code d'éléments finis (Ansys), nous avons localisé les zones de forte concentration de contraintes, lieux favorisant l'apparition et la propagation de fissures, le critère de fatigue de Crossland est exploité afin de convertir l'état de contraintes en une contrainte équivalente pour chaque chargement. Les valeurs de durées de vie sont obtenues en fonction de l'équation de la courbe de fatigue en torsion alternée, condition exigée par le critère adopté, et selon le facteur de concentration de contraintes. Nous avons travaillé dans le domaine d'endurance limitée.

Les applications effectuées et les résultats de simulation obtenus nous ont permis de constater les points suivants :

- Le facteur de concentration de contraintes est en fonction inverse avec la variation des dimensions des entailles étudiées.
- La durée de vie est en relation proportionnelle avec le facteur de concentration de contraintes.
- Dans le cas d'une plaque avec un trou au centre la courbe des valeurs de durée de vie est croissante en fonction du facteur de concentration de contraintes.
- Dans le cas de la plaque avec ellipse, la variation de la durée de vie est assez importante, par rapport au cas précédent, cela est dû à l'intensité de contraintes situées aux bords de l'ellipse.

Finalement, en perspective, le travail nécessite une continuité en abordant les points suivants :

- Réalisation des applications de simulation sur des pièces réelles.
- Confrontation avec les essais expérimentaux.
- Application d'un autre critère de fatigue.

References

- [1]. (, Kt 2020). *Facteur de concentration de contrainte*. Retrieved from instron: <https://www.instron.com/fr-fr/our-company/library/glossary/s/stress-concentration-factor>
- [2]. (, 05/2016 CONCENTRATION DES CONTRAINTES cours-et-exercices). Retrieved from : <https://www.cours-et-exercices.com/2016/05/concentration-des-contraintes-elements.html>
- [3]. (, 23/4/2022). *Fatigue (matériau)*. Retrieved from wikipedia: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fatigue_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fatigue_(mat%C3%A9riau))
- [4]. (, 2017/2018 Errahmane, GEURGUIT Elbachir et LAMINE Abd univ-msila). . Récupéré sur : <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6702/675.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5]. (, 01/06/2010 JACQUOT, Dr. B.). *Propriétés mécaniques des Biomatériaux utilisés en Odontologie*. Retrieved from <http://campus.cerimes.fr>: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/8.html>
- [6]. (, 12/2016, Dr. BENKABOUCHE SALAH-EDDINE, THESE Pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en sciences). Récupéré sur univ-mosta.dz
- [7]. (s.d.). *Factors from R. E. Peterson, "Design Factors for Stress Concentration," Machine Design, vol. 23, no. 2, February 1951, p. 169; no. 3, March.
- [8]. (, facteure, stresse concentration). Récupéré sur <https://mechanicalc.com/calculators/stress-concentration/>
- [9]. (, august 2018 Shather, Dr-luay Mohammed). *ABAQUS CAE المساعد الدكتور لؤي دمحم عباس الشندر كتاب تعليم برنامج اليباكاس الأستاذ*. Récupéré sur researchgate: https://www.researchgate.net/publication/327232347_ABAQUS_CAE_aalbakas_brnamj_tlym_ktab_alshdhr_bas_dmhm_lwy_aldktwr_almsad_aalstadh
- [10]. (, 02/2022). . Retrieved from انسس: https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B3%D8%B3#cite_note-1-wikipedia
- [11]. (,). Récupéré sur Lee SB. Out-of-phase bending and torsion fatigue of steels. In : Brown MW, Miller KJ,
- [12]. (). *LARBAOUI ABDELHAQ, LADJAL HANDA*. mostaganem 2020: author:LARBAOUI ABDELHAQ, LADJAL HANDA.