REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE YAHIA FARES
FACULTE DE TECHNOLOGIE



THESE
PRESENTE POUR OBTENIR LE DIPLOME DE MASTER
EN : GENIE MECANIQUE
SPECIALITE : INGENIERIE DES SURFACES ET DES MATERIAUX

Calcule de FIC par le code ANSYS d'une fissure contenue dans un joint de soudure d'une cuve de réacteur nucléaire de recherche

PAR : BENSEDIRA AHMED BAHAEDDINE

Proposé et Dirigé par :
DR. REBHI REDHA

Année universitaire : 2019/2020

dédicace

Ce travail est dédié à mes chers parents, mes frères et mes camarades

Remerciement

Je dois tout d'abord remercier **Allah** mon créateur, pour m'avoir donné la force pour accomplir ce travail et de m'avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

Je remercie très chaleureusement le Docteur **redha rebhi**, docteur en mécanique numérique, pour le partage de toute sa compétence, son savoir et ses nombreuses idées, avec confiance. Cette confiance, associée à son soutien et à sa gentillesse, a été un enrichissement incroyable, et pas seulement scientifique.

Je saisis l'occasion de remercier tous les enseignants du département de Génie Mécanique de l'université Dr. YAHIA Farce du Médéa surtout Chef du département le Docteur **ZIRARI Mounire**, pour son aide et ses conseils précieux dans mon cursus d'étude.

Mes remerciements sont destinés aussi à Messieurs le président et les membres du jury de m'avoir honoré par leur présence pour juger et évaluer mon travail.

ملخص

من الواجب تقييم سلامة المكونات الرئيسية لصناعة معدات العمليات والحفاظ عليها أثناء التشغيل لا سيما في الاوعية والخزانات التي تعمل تحت الضغط، حيث يمكن لهته الأخيرة ان تحتوي على شقوق سطحية وداخلية بحيث انها تتطور اثناء التصنيع والتشغيل، ان لميكانيكا الكسر المرن الخطي دور مهم وضروري في تقييم و مراقبة اوعية الضغط وذلك بتحديد عامل شدة الاجهاد الذي يساعدنا في التنبؤ بسلوك هاته المعدات.

يتضمن هذا العمل تطوير نموذج رقمي لحساب عامل شدة الاجهاد في مفصل لحام لوعاء يعمل تحت الضغط, حيث اننا نستخدم هذا النموذج لمعرفة تاثير نسبة العمق في التشقق على سمك الوعاء (قطرالتشقق/سمك الوعاء) وتاثير نسبة هندسة الشقوق (قطر التشقق/عمق التشقق) على عامل شدة الاجهاد .

الكلمات الدالة:

ANSYS ، عامل شدة الاجهاد، تشقق، مفصل لحام، خزان، مفاعل نووي .

Abstract

The integrity of the main components of the process equipment industry must be assessed and maintained during operation.

In pressure vessels, cracks « elliptical or semi-elliptical» can develop during manufacture and operation. For linear elastic fracture mechanics, the evaluation of the pressure vessel is necessary because the determination of the stress intensity factor (SIF) is an important element to predict further behavior.

The work involves the development of a digital model to calculate the stress intensity factor (SIF) in a weld joint of a pressure vessel, this model is used to see the effect of the depth ratio of the crack on the vessel thickness (a / t) and the effect of the crack geometry ratio (a / c) on the SIF.

Keywords: ANSYS, SIF, crack, solder joint, nuclear center vessel, nuclear research reactor.

Résumé

L'intégrité des principaux composants de l'industrie des équipements de traitement doit être évaluée et maintenue pendant l'opération. Dans les récipients sous pression, il y a de fissures « elliptique ou semi-elliptique » peuvent se développer pendant la fabrication et le fonctionnement.et Pour la mécanique de rupture élastique linéaire, l'évaluation de l'appareil sous pression est nécessaire car la détermination du facteur d'intensité du stress (FIC) est un élément important à prévoir comportement.

ce travail consiste au développement d'un modèle numérique pour calculer le facteur d'intensité de contrainte (FIC) dans un joint de soudure d'une enceinte sous pression, ce modèle est utilisé pour voir l'effet du rapport de la profondeur de la fissure sur l'épaisseur de la cuve (a/t) et l'effet du rapport de la géométrie de la fissure (a/c) sur le FIC .

Mots clés : ANSYS, FIC; fissure, joint de soudure, cuve, réacteur de recherche nucléaire.

Nomenclature

Symboles latins :

m : Mètre (Unité de longueur)

Pa : Pascal (Unité de pression)

N : Newton (Unité de force) et Nombre de cycle

L : Longueur de tube [m]

Rext : Rayon extérieur du tube [m]

Rint : Rayon intérieur du tube [m]

t : L'épaisseur du tube [m]

d : Densité du Matériau

E : Module de Young [Pa]

P: Pression [Pa]

a: Hauteur de la fissure [m]

c: Longueur de la fissure [m]

KI : Facteur d'intensité de Contrainte

Gu : Intensité de contrainte [N/m2] (selon BERGMAN)

C, m : Grandeurs caractéristiques du matériau

X,Y,Z : Coordonnées cartésiennes

Symboles grecs :

σ: Contrainte [N/m2]

ν : Module de Poisson

Φ : Angle d'excentricité d'une ellipse [degré °]

ξ : Déformation

Liste des tableaux

Tableau.2.1. Les paramétré de soudage……..….34

Tableau.2.2.les valeurs des FIC environ la fissure semi-elliptique dans la cuve…….44

Liste des figures

Figure.1.1.Surface d'une rupture fragile……16

Figure.1.2. Rupture par clivage……..…17

Figure.1.3. Surface d'une rupture ductile…….…….17

Figure.1.4. Rupture inter granulaire……..….18

Figure.1.5 Les trois modes de rupture.....19

Figure.1.1.Champ de contraintes dans un matériau fissuré…….....20

Figure.1.6.Première estimation de la zone plastifiée……21

Figure.1.7. Fissure de bord dans une plaque semi-infinie en traction……..22

Figure.18. Comparaison entre l'ouverture d'une fissure de bord et celle…….23

d'une fissure traversant. a une contrainte donnée

Figure.1.9. Cas d'une fissure traversant inclinée par rapport à la direction du chargement..24.

Figure.1.10 Fissures elliptique et semi-elliptique chargées en mode I…….25

Figure.11. Représentation générale de l'évolution du taux de croissance de fissure

da/dN = f(ΔK). (Bathias et Baïlon 1981)……..26.

Figure.2.1.Une cuve d'un réacteur nucléaire……34

Figure.2.2. Identification des soudures dans la cuve.....35

Figure.2.3. Micrographie optique du métal de base à plusieurs agrandissements……..…35

Figure.2.4. Répartition des précipités dans le métal (MEB)……...37

Figure.2.5. Exemple des fissures débouchant dans la cuve……..38

Figure.2.6.Micrographie en BES du facies de rupture……..39

Figure.2.7. Historique thermique et contraintes résiduelles d'une barre libre (Ueda, Murakawa, & Ma, 2012)……...39

Figure.2.8. Température, déformation et contraintes résiduelles d'une barre encastrée..….40

Figure.2.9.presentation des contraintes transversale et longitudinale……...41

Figure.2.10. Distribution des contraintes résiduelles longitudinales et transversales d'une plaque en aluminium soudée bout à bout. (Zinn, 1990)…… 42

Figure.2.11.Fissure semi-elliptique débouchant dans une surface et au voisinage d'une entaille……..43

Figure.2.12. la géométrie de la partie étudiée de a cuve de réacteur.....46

Figure.3.1.la fenêtre du code ANSYS 19.2 unsaved .project- workbench……..….47

Figure.3.2.la fenêtre du design modeler.....47

Figure.3.3.la partie simplifier de la cuve……..….48

figure.3.4.les principaux vues géométrique de la partie étudier…….……..49

Figure.3.5.representation de la charge appliquée sur le joint de soudure…….49

Figure.3.6.representation de surface du support fixesuivant l'axe « OX » « Oy »……..50

Figure.3.7.le maillage de modèle par le code ANSYS……50

Figure.3.8. Présentation de Conditions aux limites de la structure Etudiée et l'application de la charge / ANSYS……..…51

Figure.3.9.La charge appliquée sur la fissure [la surface et frontière] Avec fixation en trois directions de structure…….52

Figure.3.10.Premier cas : fissure de dimensions (a/t = 0.25 et a/c=0.25)……52

Figure.3.11.Deuxième cas : fissure de dimensions (a/t = 0.25 et a/c=0.5)……...……53

Figure.3.12.troisiéme cas : fissure de dimensions (a/t = 0.5 et a/c=0.75)…….….53

Figure.3.13.Quatrième cas : fissure de dimensions (a/t = 0.5 et a/c=1)……..54

Figure.3.14. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure…….….54

Figure.3.15. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure.....55

Figure.3.16. Déformations suivant l'axe « ox » cuve et fissure (front et surface)…….55

Figure.3.17. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface)……55

Figure.3.18. Déformations suivant l'axe « ox » cuve et fissure (front et surface)……56

Figure.3.19. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure……..56

Figure.3.20. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure……57

Figure.3.21. Déformations suivant l'axe « ox » cuve et fissure (front et surface)…….57

Figure.3.22. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface)…….……57

Figure.3.23. Déformations suivant l'axe « oz » cuve et fissure (front et surface)…….58

Figure.3.24. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure…….58

Figure.3.25. Déformations Totale en Trois Dimensions cuve et fissure……59

Figure.3.26. Déformations suivant l'axe « ox » cuve et fissure (front et surface)…….59

Figure.3.27. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface)…….59

Figure.3.28. Déformations suivant l'axe « oz » cuve et fissure (front et surface)…….……60

Figure.3.29. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure……..…60

Figure.3.30. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure……61

Figure.3.31. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface)…….61

Figure.3.32. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface)…….61

Table des matières

Dédicace……. i

Remerciements…… ii

Résumé……..….v

Nomenclature ……...….vi

Liste des tableaux……..……...….vii

Liste des figures…… vii

INTRODUCTION GÉNÉRALE ……..….11

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LA MÈCANIQUE DE LA RUPTURE

I .1.Aperçu historique…….....12

I.2.introduction…….….13

I.3. Domaine d'application……14

I.4. Méthodes d'analyse des facies de rupture……..….…15

I .4.1.Rupture fragile..……..…15

I .4.2.Rupture ductile……..26

I .4.3.Rupture par fatigue……17

I .4.4.Rupture par corrosion…….……17

I.5. Mode de rupture…….....……18

I.6.Contrainte et déformation en front de fissure……..…18

I .7.Facteurs d'intensité des contraintes en dynamique…….……20

I .7.1. Propagation de fissure…….… 22

I.8. Loi de fissuration par fatigue (propagation)……...….25

I .9.Fissure soumise à un chargement dynamique…….…….27

I .10.Facteur de sécurité……28

CHAPITRE II : Défaut de fissuration dans les joints de soudure Existant dans la cuve du réacteur nucléaire

II .1.introduction……29

II.2.les réacteur à eau sous pression……...…….30

II.3.présentation de l'équipement d'étude……..….30

II.4.la structure d'étude……32

II.5.propriété mécanique de l'alliage…….. 32

II.6.caractérisation métallurgique et mécanique de l'aluminium 6061 soudé ……33

II.7.Défauts dans le joint de soudure de la cuve…….36

II.8.faciers de la rupture dans les joints de soudure…….…...38

II.9.Les contraintes résiduelles dans les assemblages soudés…….....38

II.10. Facteur d'intensité et de l'intensité de contraintes en trois……..…….41
Dimensions :

II.11.Description du modèle étudié ……..…….42

II .12. Calcul du facteur d'intensité et de l'intensité de contraintes……43

II.13.Coclusion……..…….44

Chapitre III. Modélisation et simulation de la fissure et le calcule de FIC en trois dimensions

III.1. Introduction……45

III.2. Dimensionnement de la structure ……47

III.3.Propriétés de matériau utilisé……..48

III.4.Les conditions aux limites……..49

III.4.1.la charge axiale……49

III.4.2.le support fixe……..51

III.5.Les résultats de simulation…….54

III.6.1.Résultats du premier cas…….56

III.6.2.Résultats du deuxième cas…….58

III.6.3.Résultats du troisième cas ……..60

III.6.4.Résultats du quatrième cas……..…….61

III.6.Discussion des résultats……..62

Conclusion générale……...……63

Références bibliographique……64

Introduction générale

Toutes les pièces mécaniques contiennent des fissures, même si cela ne se voit pas à l'ail nu. Ces fissures peuvent croître lentement ou brutalement, le dernier cas de figure étant souvent synonyme de rupture ; la prévision de ces phénomènes est donc un enjeu essentiel pour le dimensionnement. La rupture est un problème auquel l'homme devra faire face aussi longtemps qu'il fabriquera des structures. Ce problème est de plus en plus crucial avec le développement, lié aux progrès technologiques, de structures complexes. La structure de la cuve d'un réacteur nucléaire est le composant contenant le cœur du réacteur (où se produit la réaction en chaîne produisant de la chaleur), la cuve participe au confinement de la radioactivité. Son intégrité est Essentielle.

Dans le design des enceintes sous pression, l'utilisation de la théorie de la mécanique de la rupture et le contrôle non-destructif sont les outils les plus efficaces chez les ingénieurs de conception. La mécanique de la rupture est généralement utilisée pour prédire la rupture des composants causée par la préexistence de petites fissures. Elle nous permet, également, de prendre nos précautions pour arrêter toute propagation future de la fissure ou bien de déterminer la durée de vie de la structure dans le cas où la propagation est inévitable. Dans le cas d'un matériau élastique (rupture fragile), l'un des critères de fissuration le plus utilisé est le facteur d'intensité de contrainte (FIC). Cependant, et par ce qu'il est difficile de déterminer avec précision le FIC pour des fissures dans des structures complexes par des solutions analytiques, l'utilisation de méthodes numériques telles que les éléments finis deviennent le seul outil approprié.

Dans mon projet de fin d'étude j'étudier la ténacité dans le joint de soudure liant deux parties de la cuve du réacteur nucléaire de recherche Es-Salaam de Birnie. Nous nous intéresserons, plus particulièrement, à l'investigation de l'effet du rapport de la profondeur de la fissure sur l'épaisseur de la cuve (a/t) et l'effet du rapport de la géométrie de la fissure (a/c) sur le FIC. L'analyse du FIC se fait selon l'hypothèse que la propagation se fait de manière radiale (selon l'épaisseur de l'enceinte), et utilise, également l'hypothèse de la plaque infinie avec un champ de contrainte uni axial, alors qu'en réalité, il s'agit d'un champ triaxial.

Cette étude illustrée dans ce mémoire est composée d'une recherche bibliographique, de Trois chapitres et d'une conclusion. Au premier chapitre, on a essayé de donner quelques

généralités sur la mécanique de la rupture, Le deuxième chapitre est consacré à la familiarisation avec le code ANSYS et l'application sur le modèle 3D de calcul du FIC, Alors que le troisième

chapitre, est réservé pour la collecte des donnée de la cuve étudier et calcul du FIC pour les différentes cas du a/t et a/c, enfin nous présentons les résultats et discussions et nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GÉNERALITÉS SUR LA MÉCANIQUE DE LA RUPTURE ET FISSURATION

I .1. Aperçu historique sur la mécanique de la rupture

Eviter la rupture n'est pas en soi une idée nouvelle. Les concepteurs des structures de l'Egypte des pharaons (pyramides) ou ceux de l'empire romain nous ont

aisés des édifices que l'on peut encore contempler ce qui prouve bien qu'ils avaient le souci d'éviter la ruine des structures. [1]

Les matériaux utilisés avant la révolution industrielle étaient cependant limités pour

L'essentiel au bois de construction, à la pierre ou à l a brique et au mortier.

La brique et le mortier sont relativement fragiles l'lorsqu'on les utilise en traction ; les structures anciennes qui ont résisté au temps, étaient chargées en compression (pyramides, ponts romains…) et de façon générale toutes les structures de l'époque qui précède la révolution industrielle étaient Conçues pour des chargements en compression. Il a fallu attendre la révolution industrielle au début du 19eme siècle, avec l'utilisation de l'acier dont les propriétés mécaniques permettaient de concevoir des structures pouvant résister à des charges de traction. La comparaison des anciens ponts romains avec les ponts modernes de structure métallique montre bien que les premiers étaient chargés en compression al ors que les seconds le sont plutôt en traction.

Les premiers essais de rupture ont été menés par Léonard de Vinci bien avant la révolution industrielle, qui a montré que la résistance à la traction de fils de fer variait inversement avec leur longueur. Ces résultats suggéraient que les défauts contenus dans le matériau contrôlaient sa résistance ; plus le volume est important (fil de fer long) plus la probabilité de présence de fissure par exemple est importante.

Cette interprétation qualitative fût précisée plus tard en 1920 par Griffith qui établit une relation directe entre la taille du défaut et la contrainte de rupture. S'appuyant sur les travaux d'Inglis, Griffith appliqua l'analyse des contraintes autour d'un trou elliptique à la propagation instable d'une fissure . [2]

I .2.Introduction

On admet volontiers qu'un réservoir sous pression finit par se rompre lorsqu'on augmente suffisamment la pression, au-delà de celle pour laquelle les contraintes dans les matériaux restent dans le domaine élastique. Or, des ruptures brutales ont été observées, sans raison apparente immédiate, à des pressions nettement plus basses. Lorsque de tels accidents ont été étudiés de manière détaillée, il a été établi qu'il existait en général préalablement à la rupture un « défaut », générateur localement de concentration de contraintes. [3]

Actuellement, un certain nombre d'industries, en particulier l'aéronautique, le nucléaire et l'aérospatiale demandent des matériaux à caractéristiques les plus élevées possible; ces alliages ont généralement une ductilité limitée. Sous certaines conditions de contraintes, un défaut, même de la taille d'un grain, peut être générateur d'une rupture brutale.

Ces défauts sont inévitables dans toute structure, même dans des matériaux aussi propres que possible. Les défauts peuvent se créer après soudage ou par corrosion sous tension ou par fatigue si la structure est soumise à des charges cycliques.

Devant l'impossibilité de calculer les structures convenablement par les méthodes classiques, il a paru fondamental de pouvoir prévoir des dimensions critiques des défauts qui, sous des conditions de contraintes données, provoqueraient des ruptures caractéristiques.

Cela a conduit à l'introduction de la notion de la « ténacité » du matériau, caractérisant l'aptitude d'un matériau à résister à la propagation brutale d'une fissure. La ténacité étant calculée avec des méthodes où interviennent les principes de la mécanique de la rupture.

I.3.DOMAINE D'APPLICATION

La mécanique de la rupture constitue aujourd'hui un outil d'évaluation de la nocivité des défauts et de caractérisation des matériaux, reconnu et appliqué de façon courante dans de nombreuses industries : l'aéronautique, l'aérospatiale, le nucléaire, la chaudronnerie, les constructions métalliques et la biomécanique, etc. [4]

Elle est utilisée :

- Au stade de la conception : pour démontrer l'innocuité, c'est-à-dire soit l'absence d'amorçage, soit l'absence de criticité d'une fissure de référence. placée à divers endroits de la structure considérée et ceci pour les diverses situations de sollicitations auxquelles la structure sera soumise durant sa durée de vie.

Le défaut de référence, enveloppe de la plus grande fissure (c'esta dire la plus pénalisante) qui puisse exister dans la structure, est en générale fixé par les codes de caractérisation des défauts.

- Au stade de l'inspection : en service ou ayant découvert une fissure il d'en évaluer la nocivité pour se prononcer sur les mesures à prendre lais en l'état ? Pour combien de temps ? Périodicité des contrôles à prévoir Réparation immédiate ?. Cette demande est préconisée par la section XI du code ASME. [5]

- Au stade de la caractérisation : par la détermination de la ténacité et de la vitesse de propagation pour divers matériaux en vue de leur caractérisation leur classement et de leur choix ou de leur recette

I .4.Méthode d’analyse des faciès de rupture :

D'un point de vue macroscopique, on peut considérer deux modes principaux de rupture : la rupture plate et la rupture inclinée.

La rupture plate correspond à une surface de rupture globalement perpendiculaire à la direction de la contrainte principale maximale.

La rupture inclinée dans le sens transversal par rapport à la direction de propagation s'accompagne souvent de grandes déformations.

L'examen du faciès de rupture permet bien souvent de détecter, après rupture, le mécanisme de rupture et le type de fissuration produit. [6]

I .4.1.Rupture fragile :

Lorsqu'il s'agit de rupture fragile, celle-ci se produit par clivage sans prévenir, le plus souvent sans déformation plastique, et les morceaux peuvent se réassembler parfaitement. Elle est soit inter cristalline, soit intra cristalline.

Le clivage est le mécanisme de déformation qui met en jeu la rupture des liaisons atomiques dans le plan dense dans lequel doit se produire la déformation. Ce mécanisme ne présume pas d'une parfaite cristallisation du matériau. De fait, le clivage intervient aussi bien dans les matériaux parfaitement cristallisés que dans les matériaux partiellement cristallisés comme nombre de polymères, ou essentiellement amorphes comme le verre.

C'est une rupture contrôlée par la contrainte normale ou contrainte de clivage ; elle se produit sans déformation plastique : les ruptures sont transgranulaires (rupture dans un grain cohérent suivant des plans cristallographiques bien définis) ; on observe des ruptures brillantes avec des facettes :

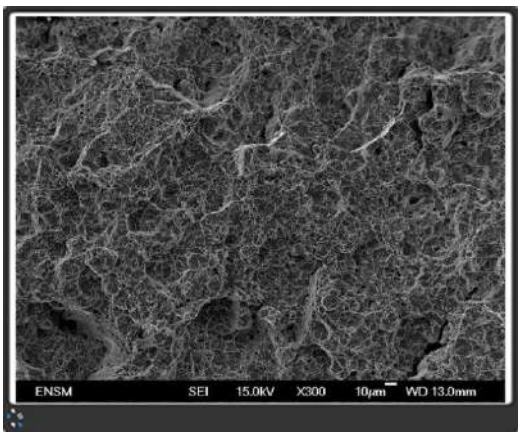


Figure.1.1.Surface d’une rupture fragile

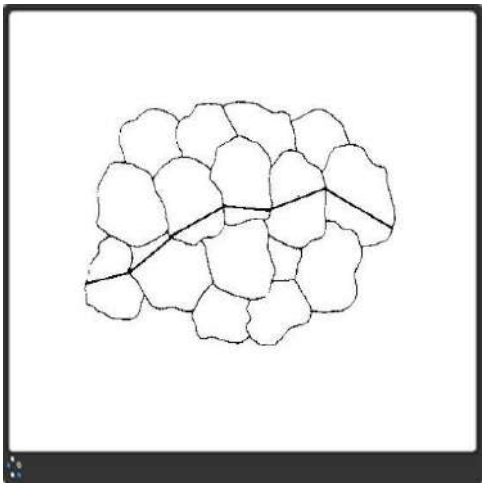


Figure.1.2. Rupture par clivage

I .4.2.Rupture ductile :

La rupture ductile est précédée d'une déformation plastique importante : l'aspect est granuleux, on observe souvent des cupules liés à une décohésion autour des inclusions.

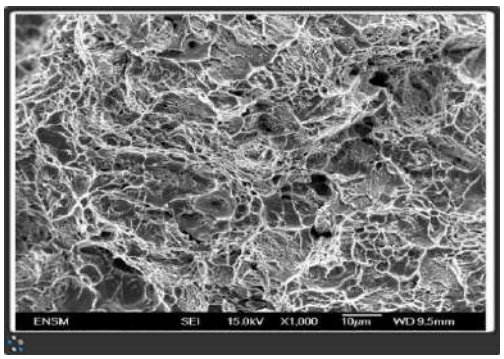


Figure.1.3. Surface d'une rupture ductile

I .4.3.Rupture par fatigue :

Un faciès de rupture par fatigue peut présenter de multiples aspects, et seul un spécialiste est apte à interpréter correctement une surface de rupture. En effet, le faciès d'une pièce rompue par fatigue présente généralement plusieurs zones :

- une zone d'amorçage, simple ou multiple
- une zone de propagation de la fissure, lisse et soyeuse, généralement plane
- une zone à grains cristallins plus ou moins apparents, plus tourmentée, dont le plan de rupture peut différer et qui correspond à la rupture finale.

La zone de rupture par fatigue présente souvent des lignes d'arrêt, correspondant à un arrêt momentané de la progression de la fissure et visible à l'oeil nu.Lorsqu'elle est examinée au microscope à balayage, la surface de rupture présente des microreliefs caractéristiques appelés stries. Quand un faciès de rupture présente des stries, il est certain que l'on a affaire à une fissuration par fatigue (se reporter au cours sur la fatigue pour plus de détails).

I .4.4.Rupture par corrosion :

Une rupture fragile intergranulaire (séparation suivant les joints de grains) est observable principalement en présence de corrosion : fragilisation par l'hydrogène par exemple.

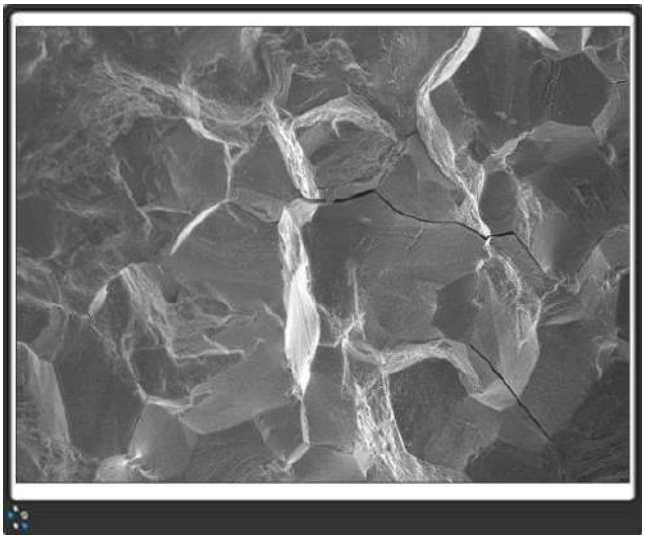


Figure.1.4. Rupture inter granulaire

I.5. Modes de rupture

Il convenu que le déplacement relatif des deux surfaces(les lèvres) de la fissure peut être découplé suivants trois 03 modes de fissuration. En générale, il est considéré que la fissure tend à propager suivant le mode de fissuration qui facilite son ouverture, à savoir le mode I de fissuration [7]

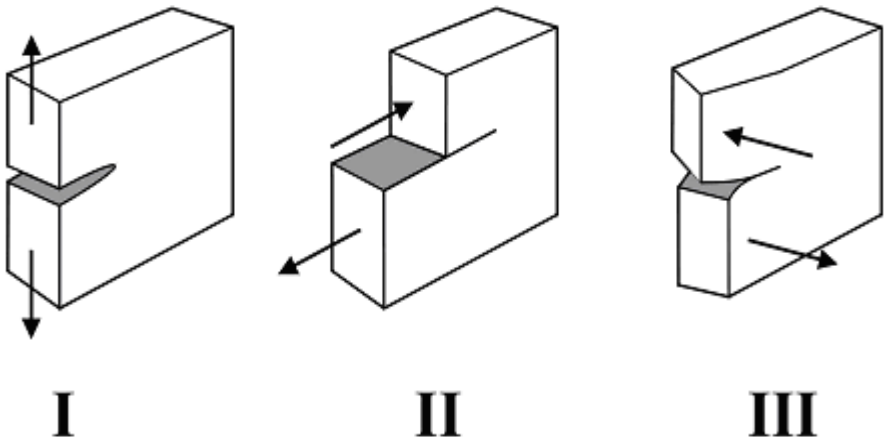


Figure.1.5. Les trois modes de rupture

Mode I : Correspond à une ouverture dans la direction normale au plan des lèvres des Fissures . Dans ce cas, les lèvres sont ouvertes mais non cisaillées.

On a $kI = \lim_{r\to 0}[(\sigma y(2\pi r)\ 1/2]$ (1.1)

Mode II : Correspond à un glissement des lèvres de fissures. Ce cas, les lèvres sont fermées.

On a $kII = \lim_{r\to 0}[(\tau xy(2\pi r)\ 1/2]$ (1.2)

Mode III : est une combinaison des deux modes précédents. Le Mode Mixte est quant à lui exclu.

On a $kIII = \lim_{r\to 0}[(\tau yz\ (2\pi r)\ 1/2]$ (1.3)

Ces modes peuvent se combiner en modes mixtes (I+II, II+III, I+III, etc.).

Plusieurs auteurs voient que le mode I est le plus dangereux, le plus défavorable, car 'est le cas le plus répandu en pratique. Certains d'autres, comme PLUVINAGE voient que le mode mixte (I+II), pour un certain angle d'inclinaison de la fissure par rapport à l'axe de chargement est le plus dangereux.

Pour résumer, quatre types de propagation de fissure [BUI 77 ; REC 95] se distinguent :

• type I : une fissuration brutale provoquant une rupture fragile où la loi de comportement du matériau reste dans le domaine élastique linéaire (et élasto-plastique mais à petites déformations).

• type II : une fissuration brutale provoquant une rupture ductile où la loi de comportement du

matériau est généralement élasto-plastique à grandes déformations.

• type III : une fissuration successive fragile (dont l'effet se cumule avec le nombre de cycles), la loi de comportement considérée est élastique linéaire, la vitesse de fissuration est lente (10-7 à 10-4 mm/cycle de chargement). Cette fissuration est constatée sous charge répétée (fatigue à grand nombre de cycles).

• type IV : une fissuration successive ductile, la loi de comportement considérée est élasto-plastique à petites déformations ; la vitesse de fissuration est relativement rapide. Cette fissuration est provoquée sous charge répétée (fatigue à petit nombre de cycles appelée oligocyclique). [1]

I .6. Contraintes et déformations en front de fissure

Avant d'aborder la question de la plasticité en fond de fissure, il convient de rappeler brièvement les résultats issus de la mécanique de la rupture, sur la formation de la
Zone plastifiée au bout d'une fissure. [8]

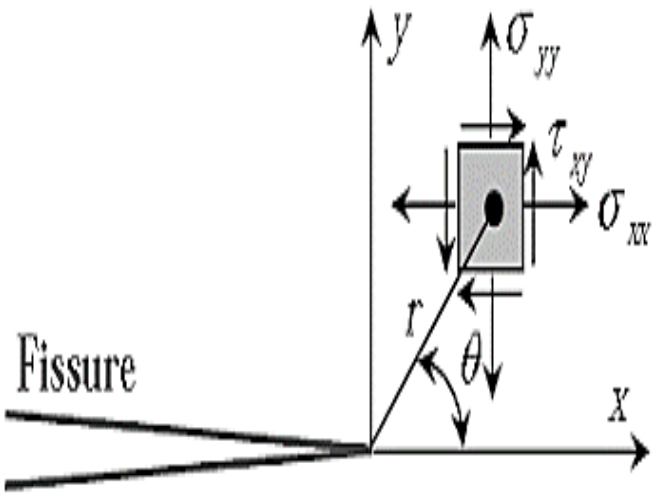


Figure.1.6.Champ de contraintes dans un matériau fissuré

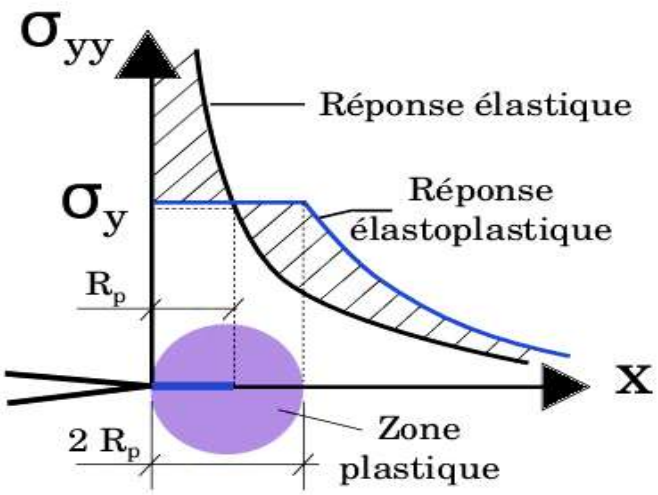


Figure.1.7.Première estimation de la zone plastifiée.

Dans ce mode de sollicitation (mode I), l'état de contraintes et de déformations en fond de fissure est donné dans le cadre de la mécanique linéaire de la rupture par les relations suivantes :

$\sigma ij = KI/\sqrt{2\pi r}$ (i,j =X,Y) (1.4)

$\varepsilon ij = \frac{KI}{E}\sqrt{2\pi r}gij(\theta , \upsilon)$ (1.5)

$\sigma ij = 0$ en contrainte planes

$\sigma zz = \upsilon(\sigma xx+\sigma yy)$ en déformation planes (1.6)

$\varepsilon zz = \frac{1}{E}[\sigma zz- \upsilon(\sigma xx+\sigma yy)]$ (1.7)

Avec : $KI = \sigma g \sqrt{\pi a}$: facteur d'intensité de contrainte

R ,θ : coordonnées polaires d'un point en avant de pointe de la fissue

E : module d'Young

Fii(θ) : fonction de l'angle θ

gii : fonction de l'angle θ et du coefficient de poisson υ

Au cours du chargement, la contrainte σ atteint localement la limite d'élasticité Re, il y aura alors plastification à la pointe de la fissure dans une zone telle que :

$$\sigma_I = Re = \frac{KI}{\sqrt{2\pi ry}} \qquad (1.8)$$

Soit :

$$ry = \frac{KI^2}{2\pi Re^2} \qquad (1.9)$$

Ce modèle simple défini par Irwin, en contraintes planes, fait l'hypothèse que la forme de la zone plastique est circulaire. et que le matériau est élastique parfaitement plastique. en réalité, la taille de cette zone dépend de nombreux paramètres tels que le coefficient d'écrouissage, l'état de contraintes, le mode de rupture. etc. [9].

I .7. Facteurs de concentration de contraintes(k) et le comportement global :

Pour que le facteur d'intensité des contraintes soit utile, il faut être en mesure de déterminer K à partir du chargement et de la géométrie. Des solutions analytiques pour K ont été obtenues pour un certain nombre de configurations simples. Pour des situations plus complexes, le facteur d'intensité des contraintes peut être évalué expérimentalement ou numériquement. [9]

Une des premières configurations de fissuration, pour laquelle une solution analytique a été développée, est celle d'une fissure traversant dans une plaque infinie en traction

Comme le chargement est perpendiculaire au plan de la fissure, le cas est un pur mode I. Le FIC pour ce cas de figure est donné par :

$$KI = \sigma \sqrt{\pi a} \qquad (1.10)$$

Ainsi, l'amplitude de la singularité à l'extrémité de la fissure pour cette configuration est proportionnelle à la contrainte appliquée à l'infinie, et à la racine carrée de la demi-longueur de la fissure.

Une solution analogue est donnée pour une plaque semi-infinie avec une fissure de bord, notez que cette configuration peut être obtenue par découpage de la plaque de la Figure I -2 par le milieu de la fissure. Le facteur d'intensité des contraintes pour une fissure de bord est donnée par :

$$K I = 1.12\ \sigma \sqrt{\pi a} \qquad (1.11)$$

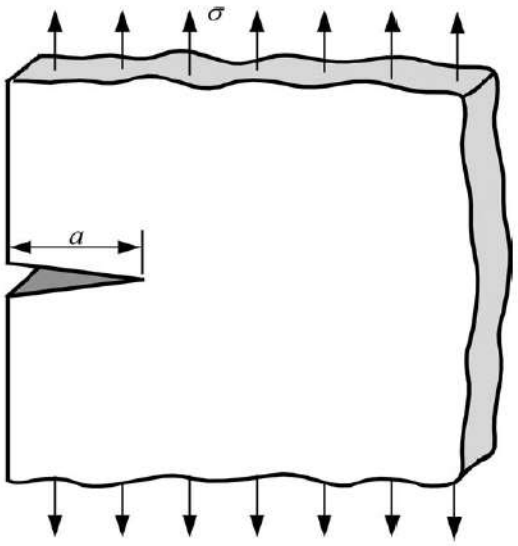


Figure.1.8. Fissure de bord dans une plaque semi-infinie en traction

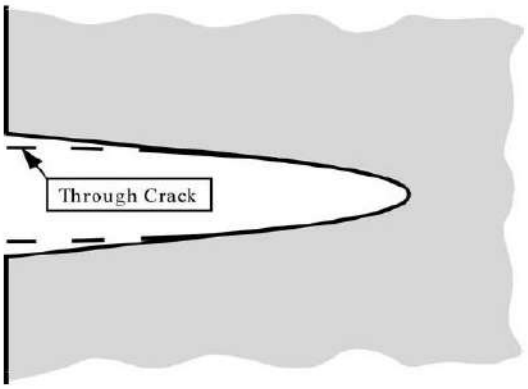


Figure.1.9. Comparaison entre l'ouverture d'une fissure de bord et celle d'une fissure traversant. a une contrainte donnée

L'ouverture de la fissure de bord est plus large. En conséquence, le FIC est 12% plus grand. Considérons le cas d'une fissure traversant dans une plaque infinie et inclinée par rapport à ladirection du chargement d'un angle β, Si on décompose le chargement selon l'axe de la fissure, on peut voir que la fissure est chargée en mode mixte (mode I et II). Si on redéfinl'axe des coordonnées pour coïncider avec l'orientation de la fissure, on voit que la contrainte appliquée peut être décomposée en deux contraintes : normale et tangentielle.

La contrainte normale au plan de la fissure $\sigma_{y'y'}$, produit le mode I pur, tandis que $\tau_{x'y'}$ produit le mode II. Les facteurs d'intensité de contraintes pour la plaque et $\tau_{x'y'}$ à σ et β au moyen du cercle de Mohr :

$$K_I = \sigma_{yy} \sqrt{\pi a} = \sigma \cos^2(\beta) \sqrt{\pi a} \qquad (1.12)$$

$K_{II} = \tau x'y'\sqrt{\pi a} = \sigma \sin(\beta)\cos(\beta)\sqrt{\pi a}$ (1.13)

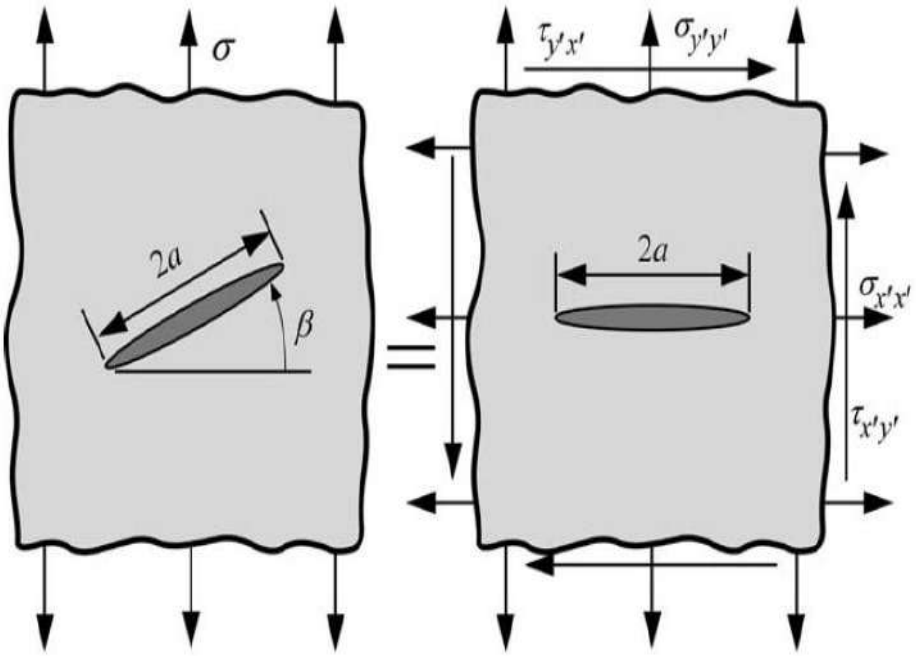


Figure.1.10. Cas d'une fissure traversant inclinée par rapport à la direction du chargement.

Le cas d'une fissure circulaire dans un massif infinie est une autre configuration possédant une solution analytique pour le FIC en mode I :

$K_I = 2/\pi\ \sigma\sqrt{\pi a}$ (1.15)

Le cas le plus général d'un défaut elliptique ou semi-elliptique, dans ce cas, deux dimensions sont nécessaires pour caractériser la taille de la fissure: 2c et 2a, le grand axe et le petit axe de l'ellipse, respectivement. En outre, lorsque a<c, le FIC varie le long du front de fissure, avec un maximum à $\varphi = 90°$. Le paramètre du défaut Q est obtenu à partir d'une intégrale elliptique. . [10]

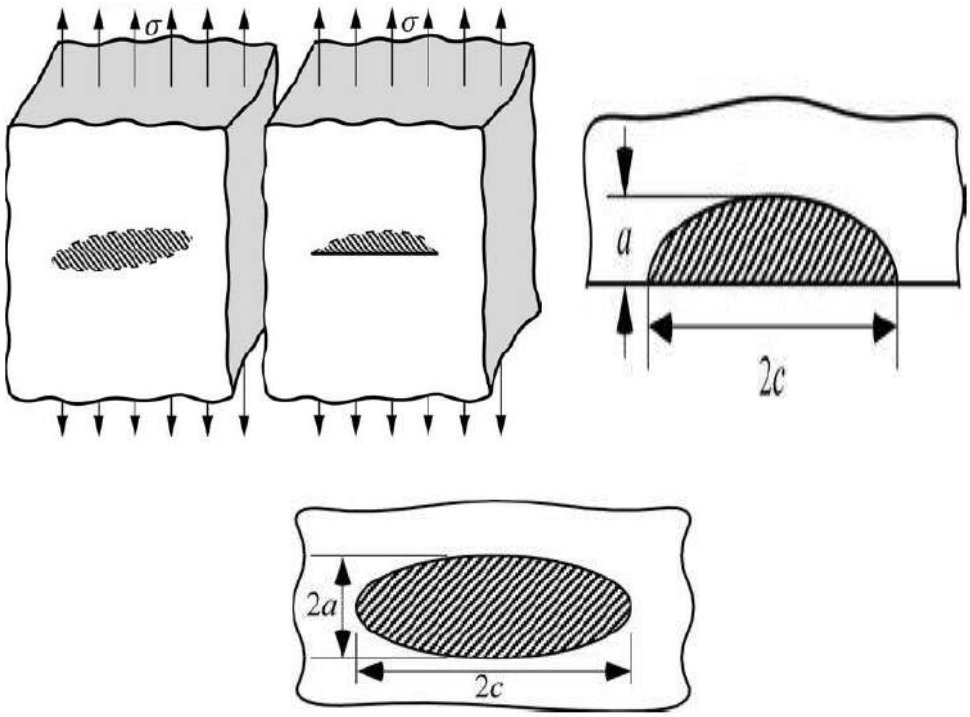


Figure.1.11. Fissures elliptique et semi-elliptique chargées en mode I

On a :

$$K_I = Ys\ \sigma\sqrt{\frac{\pi a}{Q}}\ f(\phi) \quad (1.16)$$

$$Q = 1+1.464\left(\frac{a}{c}\right)^{1.65} \quad (1.17)$$

$$Ys = [1.13-0.09\left(\frac{a}{c}\right)][1+0.1(1-\sin 2(\phi)) \quad (1.18)$$

$$f(\phi) = [\sin 2\phi + \left(\frac{a}{c}\right)^2 \cos 2\phi]^{1/4} \quad (1.19)$$

I.8. Loi de fissuration par fatigue (propagation)

Dans les cas habituels, la fissure progresse avec un taux de croissance par cycle da/dN qui augmente avec la longueur de la fissure. Si la fissure initiale est non compatible avec le chargement appliqué, un certain nombre de cycles sont nécessaires pour initier la propagation et lorsque la longueur de fissure associée à l'effort remplit les conditions d'instabilité, il y a rupture brutale. [11]

Nous nous limitons au cas de la propagation d'une fissure plane, étant donné que le bloc fissure a été construit sur la base d'un défaut plan semi-elliptique. La modélisation de la propagation en 3D est basée sur l'utilisation de la loi de Paris (Paris et al. (1963)) en chaque

noeud du front de fissure dans le plan normal au front. On décrit ainsi l'avancement de chaque point du front de fissure en considérant seul l'effet du mode I prépondérant :

$$\frac{da}{N} = c \qquad (1.20)$$

Dans cette formule, « a » représente la profondeur de la fissure, « N » le nombre de cycles, et

Δk = kmax-kmin la variation du facteur d'intensité de contrainte au cours d'un cycle de chargement. « C » et « m » sont des grandeurs caractéristiques du matériau.

Le taux de croissance d'une fissure peut être déterminé par une loi de propagation qui est basée essentiellement sur le facteur d'intensité des contraintes de la fissure. Paris et al. (1961) ont défini une loi macroscopique de propagation de fissure qui donne une relation entre le taux de croissance de fissure et la variation du facteur d'intensité des contraintes ΔK. Au cours des années, cette loi a beaucoup évolué pour prendre en compte l'effet de différents Paramètres sur le taux de croissance des fissures. Il existe bien d'autres loissimilaires, mais la simplicité et la forme générale conduit les chercheurs à utiliser le plus fréquemment pour leurs calculs la loi de paris proprement dite, après en avoir mesuré expérimentalement les paramètres de fissuration C et m.

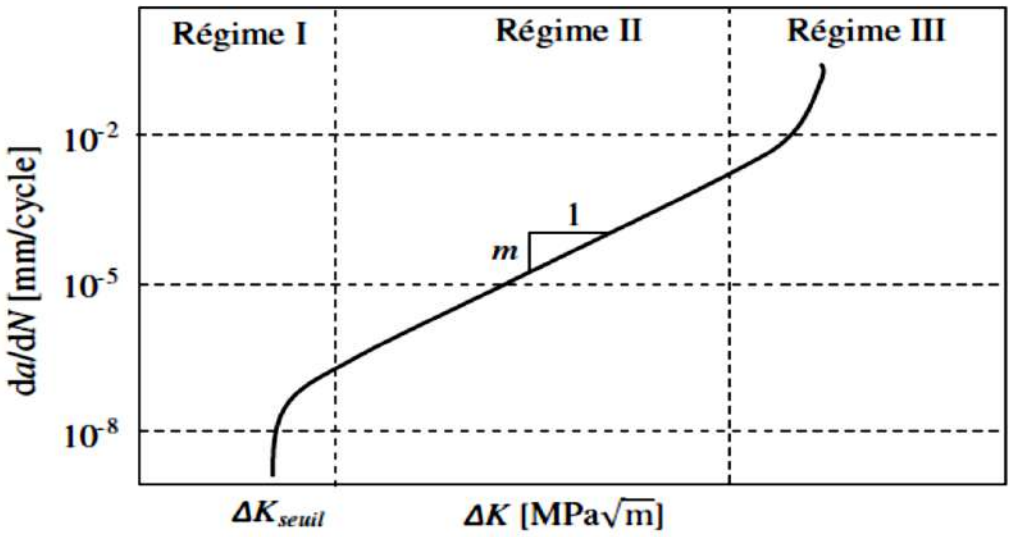


Figure.1.8. Représentation générale de l'évolution du taux de croissance de fissure en fonction de l'amplitude du facteur d'intensité des contraintes : da/dN = f(ΔK). (Bathias et Baïlon 1981).

I .9.Fissure soumise à un chargement dynamique

La mécanique de la rupture traite bien l'état de contrainte autour de fissures chargées de manière statique. Cependant, lorsque les fissures se propagent rapidement, le problème n'est pas encore maîtrisé. De nombreux phénomènes viennent interférer avec la fissure en développement, tels que la sensibilité du comportement à la vitesse de déformation, la bifurcation de fissure, son accélération et sa décélération, la dépendance du facteur d'intensité des contraintes à la vitesse de chargement… Ils sont à la base du développement de la rupture dynamique. Les effets dynamiques influent sur la mécanique et sur le comportement du matériau. [12]

Il est nécessaire d'introduire les termes d'inertie dans les équations locales du mouvement lorsque l'hypothèse d'un évènement statique n'est pas vérifiée. En dynamique, les équations locales du mouvement prennent donc en compte, en plus, les termes d'inertie :

$\sigma ij,j + fi = r\, ui$ (1.21)

i,j = x,y,z :coordonnées dans un repère fixe par rapport au matériau

σij : composante du tenseur des contraintes

U i : composante du vecteur déplacement

r : masse volumique

f i : composante du vecteur des forces volumiques

Les termes r,u,i est caractéristique des problèmes dynamiques. En dynamique, c'est-à-dire pour des chargements dynamiques ou pour une propagation rapide de la fissure, deux constantes apparaissent lors de la résolution des équations du mouvement. Elles sont caractéristiques de la vitesse de propagation des ondes longitudinales C1 et transversales C2. L'expression de ces constantes, pour un matériau élastique, est donnée ci-après, ainsi que leurs valeurs pour différents matériaux, aciers et aluminiums.

C1 : célérité des ondes longitudinales : $C1=\sqrt{\frac{y+2u}{p}} = \sqrt{\frac{E(1+v)}{p(1+v)(1-2v)}}$ (1.22)

C2 : célérité des ondes de cisaillement : $C2 = \sqrt{\frac{u}{p}} = \sqrt{\frac{E}{2p(1+c)}}$ (1.23)

I.10.facteur de sécurité :

Jusqu'au 19éme siècle, toutes les constructions ont été conçues et exécutées en grande partie de matériaux empiriques. L'invention de la construction métallique a entrainé le développement de la résistance des matériaux. Le principe de sécurité adopté d'emblée consistait à s'assurer que l'effet maximal, dans la partie la plus critique de la construction, restait inférieur à une contrainte admissible. Celle-ci étant obtenue en divisant la résistance de matériau utilisé par un coefficient de sécurité fixé de façon conventionnelle.

Au lieu d'imposer un coefficient de sécurité seulement sur la résistance du matériau ou la taille du défaut ou les trois, l'approche probabiliste introduit le facteur de fiabilité comme critère quantitatif d'une faible probabilité de rupture.

Pour la méthode déterministe le facteur de sécurité peut être défini à l'aide des diagrammes Intégrité-Rupture en utilisant l'hypothèse d'un trajet radial, ce qui laisse supposer que le défaut n'évolue pas au cours du chargement. Le domaine de fiabilité est obtenu en divisant l'équation de la courbe d'interpolation par un facteur de sécurité dont la valeur est conventionnelle (généralement 2). [13]

CHAPITRE II

Défaut de fissuration dans les joints de soudure Existant dans la cuve du réacteur nucléaire

II.1.Introduction

L'intégrité des centrales nucléaires repose sur trois barrières successives. La première barrière est la gaine du combustible et le second est constituée par la cuve. En cas d'accident, la cuve confine les produits de fission et empêche leur fuite à l'extérieur. La troisième et dernière barrière de protection est l'enceinte de confinement qui contient le bâtiment réacteur.
Les cuves sont conçues conformément aux Règles de Conception et de Construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires R.E.P. (R.C.C.M.). Il s'agit de règles pratiques de conception, de fabrication et de contrôle transcrivant des objectifs de résistance et de qualité.
L'effet de la pression et de la température sur les matériaux est important à prendre en compte au sein d'un réacteur. En conséquence, une pression atteignant 155 bars et une température de 300°C jouent un rôle non négligeable sur la sûreté d'une centrale nucléaire. Cette pression élevée impose l'utilisation de matériaux suffisamment résistants pour limiter l'épaisseur des pièces et présentant une bonne résistance à la rupture brutale par clivage et une bonne soudabilité. Ainsi, les enceintes sous pression sont constituées de matériaux à hautes valeurs de résilience et de ténacité. [14]
Tous les joints soudés d'assemblage font l'objet d'un contrôle de surface par ressuage et d'un contrôle volumétrique par ultrasons et radiographie.
Concernant l'inspection en service, les parties les plus sensibles de la cuve sont contrôlées périodiquement, à savoir après les deux premières années de fonctionnement puis tous les dix ans pour les contrôles décennaux. Les zones inspectées sont les viroles de cœur dans leur quasi-totalité et toutes les soudures. Dès le démarrage des premiers réacteurs, un programme de suivi de l'irradiation a été mis en place. Cette problématique dans le cadre de la sûreté des installations nucléaires.
Ce chapitre illustre une généralité sur le problème de la fissuration dans les joints de soudure de la cuve de réacteur de recherche es-Salaam, je vais présenter la structure d'étude et le collecte des données de la cuve Prélude à modélisation géométrique pour faire la simulation numérique.

II.2.Le réacteur à eau sous pression :

Toute centrale électrique thermique produit, en faisant passer de la chaleur d'une source chaude vers une source froide, de l'énergie mécanique qu'elle transforme en électricité. Les centrales classiques utilisent la chaleur dégagée par la combustion de combustibles fossiles (fioul, charbon, gaz). Les centrales nucléaires utilisent celle qui est dégagée par la fission d'atomes d'uranium ou de plutonium. La chaleur produite permet de vaporiser de l'eau. La vapeur est ensuite détendue dans une turbine qui entraîne un alternateur générant un courant électrique triphasé d'une tension de 400 000 V. La vapeur, après détente, passe dans un condenseur où elle est refroidie au contact de tubes dans lesquels circule de l'eau froide provenant de la mer, d'un cours d'eau (fleuve, rivière) ou d'un circuit de réfrigération atmosphérique. Chaque réacteur comprend un îlot nucléaire, un îlot conventionnel, des ouvrages de prise et de rejet d'eau et éventuellement un aéroréfrigérant.

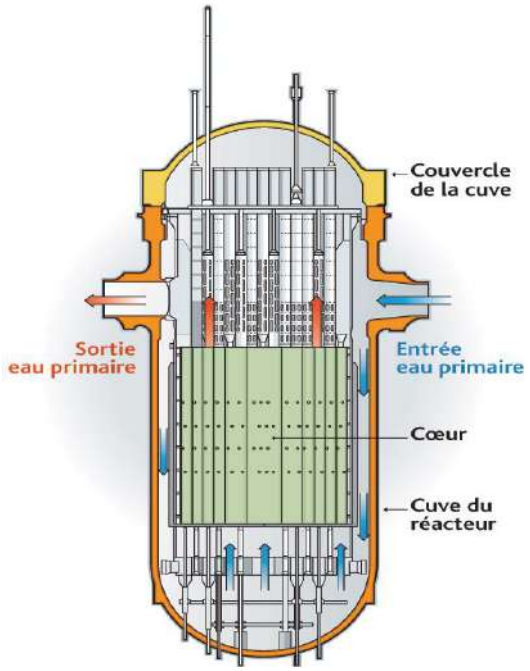


Figure.2.1.Une cuve d'un réacteur nucléaire

II.3.Présentation de l'équipement d'étude :

La cuve du réacteur nucléaire est l'équipement au sein duquel l'eau du circuit primaire est chauffée au contact du combustible nucléaire. L'eau du circuit primaire va ensuite circuler vers les générateurs de vapeur pour transférer sa chaleur à l'eau du circuit secondaire, transformant cette dernière en vapeur. La vapeur ainsi créée alimente ensuite une turbine, reliée à un alternateur pour produire l'électricité.

Le cœur du réacteur à eau sous pression est le siège de la réaction de fission et la production de la chaleur. Il est composé d'assemblages combustibles et des barres de contrôles et de commandes. Chaque assemblage combustible comporte, selon le type, environ 264 crayons combustibles, 24 tubes pouvant contenir les crayons d'une grappe de commande et un tube d'instrumentation. [15]

Comme tous les équipements du circuit primaire, la cuve est soumise à des conditions de pression et de température importantes. Tous ces équipements forment l'enveloppe qui contient l'eau du circuit primaire, c'est-à-dire l'eau qui a été en contact avec le combustible nucléaire neutronique, et qui est susceptible de transporter des éléments radioactifs. Le circuit primaire constitue la deuxième barrière permettant d'isoler le combustible nucléaire de l'environnement en toutes situations. La première barrière est constituée par les gaines étanches dans lesquelles sont insérées les pastilles de combustible, et la troisième barrière est assurée par l'enceinte de confinement, double sur l'EPR. Néanmoins, tout est mis en œuvre pour exclure toute fuite sur les équipements primaires. On s'attache en particulier à démontrer qu'aucune rupture de la cuve n'est possible.

Le phénomène auquel est portée une attention particulière est celui dit "de rupture brutale". Lors de changements de température rapides (dans les phases d'arrêt et de redémarrage, ou éventuellement dans les phases accidentelles qui sont postulées pour évaluer la robustesse de l'installation), les effets de contraction/dilatation thermique sur une pièce de cette épaisseur sont susceptibles d'introduire des contraintes importantes au sein de l'acier. Si une fissure était présente à la surface de l'acier, et si l'acier n'était à cet endroit pas suffisamment résistant, celle-ci pourrait se propager et conduire jusqu'à la rupture de la pièce.

Ainsi, lors de la conception et de la fabrication, on s'assure que :

- les pièces de la cuve sont exemptes de défauts ;
- les conditions auxquelles sera soumise la cuve, dans toutes les situations possibles, ne généreront pas d'efforts susceptibles de dépasser les capacités de l'acier ; la résistance de matériau d'aluminium à la propagation de fissures, que les scientifiques appellent la ténacité, est suffisante.

II.4.La structure d’étude :

L’aluminium 6061 est un durci par précipitation en alliage d'aluminium contenant du magnésium et du silicium en tant que ses principaux alliage éléments. Initialement appelé « alliage 61S », il a été développé en 1935. Il a de bonnes propriétés mécaniques, présente une bonne aptitude au soudage , et est très couramment extrudé (le second en popularité à 6063).

Il est l’un des alliages les plus courants d’aluminium pour usage général. [16]

Il est généralement disponible dans les classes pré-trempé tels que 6061-O (recuit), les notes trempé tels que 6061-T6 (et vieillis artificiellement mis en solution) et 6061-T651 (mis en solution, stress soulagé étirés et vieillis artificiellement).

La composition de l'alliage de 6061 est la suivante:

- Silicon minimum de 0,4%, au maximum 0,8% en poids
- Fer pas minimum, maximum 0,7%
- Cuivre minimum 0,15%, 0,4% maximum
- Manganèse pas minimum, maximum 0,15%
- Le magnésium minimum de 0,8%, au maximum 1,2%
- Le chrome minimum 0,04%, au maximum 0,35%
- Zinc pas minimum, maximum 0,25%
- Titane pas minimum, maximum 0,15%
- D'autres éléments pas plus de 0,05% chacun, 0,15% au total
- Reste aluminium (95,85 à 98,56%)

II.5.Propriété mécanique de l’alliage :

Les propriétés mécaniques de 6061 dépendent fortement de l' humeur , ou le traitement thermique du matériau. Module d'élasticité est de 69 GPa (10.000 ksi) indépendamment de L’humeur.

6061

Recuit 6061 (6061 trempe-O) a au maximum la résistance à la traction ne dépassant pas 120 MPa (18 000 psi), et au maximum la limite d'élasticité ne dépassant pas 55 MPa (8000 psi). Le matériau présente un allongement (allongement avant la rupture finale) de 25 à 30%.

6061-T4

Trempe T4 6061 a une résistance à la traction d'au moins 210 MPa (30 000 psi) et de limite élastique d'au moins 110 MPa (16 000 psi). Il a un allongement de 16%.

6061-T6

T6 caractère 6061 a une résistance à la traction d'au moins 290 MPa (42 000 psi) et la limite d'élasticité d'au moins 240 MPa (35 000 psi). Des valeurs plus typiques sont de 310 MPa (45 ksi) et 270 MPa (39 ksi), respectivement. d'une épaisseur de 6,35 mm (0,250 pouce) ou moins, il a un allongement de 8% ou plus; dans les sections plus épaisses, il a un allongement de 10%. Humeur T651 a des propriétés mécaniques similaires. La valeur typique pour la conductivité thermique de 6061-T6 à 25 ° C (77 ° F) est d'environ 152 W / m K. Une fiche de matériau définit la limite de fatigue sous charge cyclique de 97 MPA (14 000 psi) pour 500.000.000 cycles complètement inversées en utilisant une machine d'essai standard RR Moore et l'échantillon. Notez que l'aluminium ne présente pas un « genou » bien défini sur le graphe Sn, donc il y a un débat quant à combien de cycles équivaut à la « vie infinie ». A noter également la valeur réelle de la limite de fatigue pour une application peut être considérablement affecté par les facteurs traditionnels de chargement, gradient, et la finition de surface. [1]

II.6. Caractérisation métallurgique et mécanique de l'aluminium soudé :

6061 est hautement soudable, par exemple en utilisant le soudage au gaz inerte de tungstène (TIG) ou soudure de métaux sous gaz inerte (MIG). En général, après le soudage, les propriétés à proximité de la soudure sont celles de 6061-T4, une perte de résistance de l'ordre de 40%. Le matériau peut être retraité thermiquement pour restaurer près -T6 humeur pour toute la pièce. Après le soudage, le matériau peut naturellement vieillir et restaurer une partie de sa force aussi bien. La plupart force est récupéré dans les premiers quelques jours à quelques semaines. Néanmoins, le Manuel de conception d'aluminium (Aluminium Association) recommande la résistance à la conception de la matière adjacente à la soudure d'être pris comme 165 MPA / 24000 PSI sans traitement thermique après le soudage appropriée. Matière de charge typique est de 4043 ou 5356.

Le métal de base utilisé est un alliage d'Aluminium de la série 6000 (6061), Aluminium-Magnésium-Silicium. Cette alliage est reçu à l'état T6 (subi un traitement thermique de mise en solution et de vieillissement artificiel) après extrusion. [1]

Paramètre	WPS	PQR
Diamètre du métal d'apport	2 - 2,4 mm	2,4 mm
Position	6G	6G
Courant polarité	AC	AC
Ampérage	150 - 250 A	1- 170 A 2- 175 A 3- 175 A 4- 175 A
Voltage	12 - 18 V	1- 12,70V 2- 13,70V 3- 13,70V 4- 13,70V
Vitesse d'avance	0,8 – 1,6 cm/mn	1- 12,4 cm/mn 2- 12,6 cm/mn 3- 12,1 cm/mn 4- 11,8 cm/mn
Gaz de protection	Argon	Argon
Débit du gaz de protection	8 - 12 L/mn	12 L/mn
Diamètre de la buse	8 – 10 mm	/
Température de préchauffage	60°C	Ambiante
Température entre passe	150°C max	150°C max

Tableau.2.1. Les paramétré de soudage

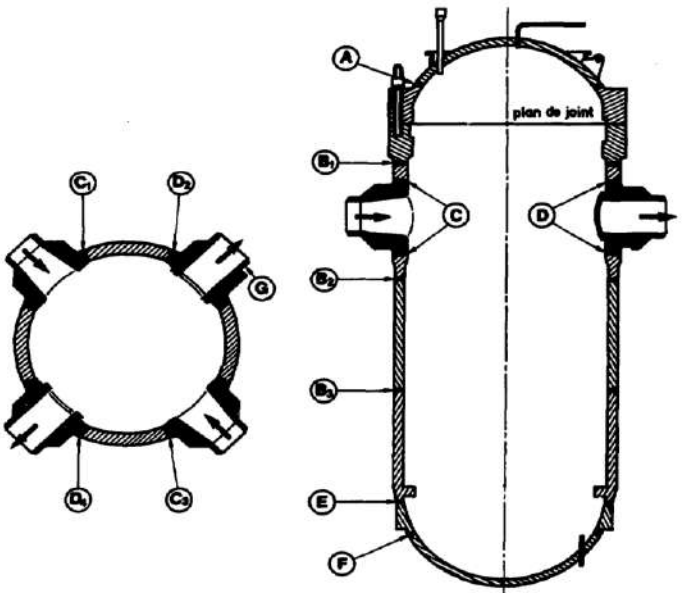


Figure.2.2. Identification des soudures dans la cuve

Après soudage, un contrôle radiographique a été fait sur le tube. Une caractérisation métallographique par un microscope optique a révélé un changement microstructurale surtout au niveau de la Zone affecté thermiquement (ZAT).

Des essais de traction ont été effectués suivant la norme ASME section IX, ainsi qu'un essai de dureté suivant deux profilés.

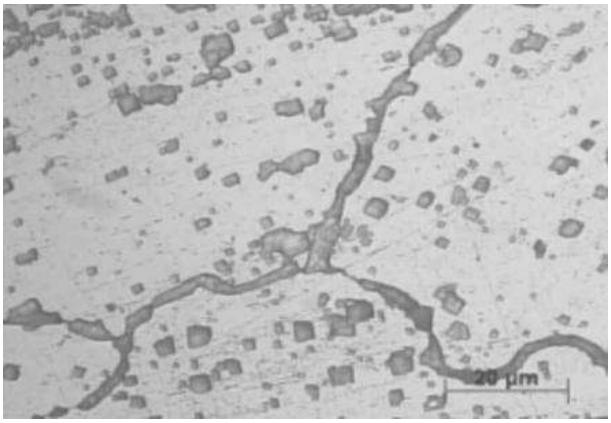


Figure.2.6.3. Micrographie optique du métal de base à plusieurs agrandissements.

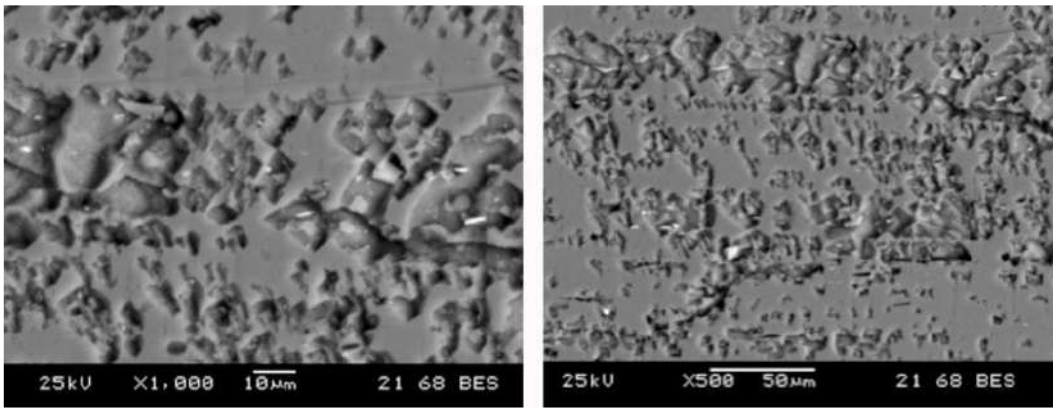


Figure.2.6.4. Répartition des précipités dans le métal (MEB)

Le choix de l'alliage d'apport n'est pas aléatoire car il a pour but de réduire la sensibilité au retrait et à la fissuration à chaud. Sur la figure 6 est reportée les microstructures des différentes passes.

Par ailleurs, la vitesse de soudage influence la macrostructure de la ZF, qui se décompose en une zone basaltique où les dendrites ont une croissance en colonne et une zone où les grains sont équiaxiales .

Lors du soudage, on peut enregistrer des températures élevées qui restent toutefois en dessous de la température de fusion. Cela entraîne des modifications métallurgiques à l'état solide. Pour les alliages à durcissement structural, cette zone peut se décomposer progressivement en trois zones. Dans la première, la température est telle que la dissolution est totale. Dans la deuxième zone, les précipités de type β″ se transforment progressivement en β′. Dans la troisième, les précipités de type β″ subissent une coalescence.

II.7.Défauts dans le joint de soudure de la cuve

La caractérisation des défauts en nombre et en dimension constitue 1'un des trois paramètres nécessaire à une évaluation probabiliste de rupture â partir de l'utilisation de la mécanique des ruptures. L'idéal serait de connaître, par cuve de réacteur, le nombre le plus probable de défauts ayant une position, une longueur et une largeur donnée, ainsi que le niveau de confiance qui peut lui être attribué. Pour acquérir cette connaissance, il serait nécessaire de disposer de moyens d'investigation très performante, et de les utiliser sur un grand nombre de cuve de réacteurs. Comme nous allons le voir nous ne disposons que de très peu de données dans la littérature. Aussi a-t-il été nécessaire, dans le cadre du programme d'évaluation probabiliste de rupture de cuve, de lancer un programme particulier. Il a fallu en premier lieu définir les domaines d'investigation. En effet, une cuve de réacteur est toujours constituée d'un matériau de base, (pièces laminées ou forgées) raccordées par des soudures. Les défauts peuvent donc se localiser soit dans le matériau de base, soit dans les soudures, ou bien dans les deux â la fois. de ses conclusions (4.5) que *90%* des ruptures de récipient sous pression ont été provoquées par des défauts situés dans les soudures. Il a donc été décidé de limiter la recherche et la caractérisation des défauts, aux seules soudures. Ce point étant acquis, et comme il l'a été indiqué au chapitre 3.2.*i* toute évaluation probabiliste nécessite de se fixer pour chaque paramètre, le point de départ de l'analyse probabiliste, à partir duquel est établie la distribution statistique de ce paramètre. Les défauts de soudure apparaissent évidemment lors de la phase de soudage. Il devrait donc être possible â partir de l'analyse des procédés de soudage, des méthodes d'approvisionnement et de contrôle, de la fiabilité humaine etc. d'évaluer la distribution et la forme des défauts. Il a été jugé préférable d'initialiser la distribution des défauts à partir des contrôles effectués immédiatement après soudage, et avant réparation, sur des soudures de cuves de réacteur â eau fabriquées dans différents ateliers. Des contrats ont été

négociés et signés avec trois constructeurs de cuves Européen:Breda,Framatome et Rotterdam Nucléal.

Les données rassemblées par ces constructeurs ont été envoyées sous forme confidentielle au centre d'Ispra qui en a assuré l'harmonisation et le mixage. Après quoi ces données ont subi des traitements en vue d'aboutir a une distribution de défauts la plus représentative possible de ce qui doit exister dans les soudures d'une cuve.

L'évaluation de la probabilité de rupture des cuves et récipients sous pression a intéressé pour des raisons diverses les compagnies d'assurance, les constructeurs de chaudières et leurs associations et chambres syndicales, les exploitants, les autorités de sureté. Les conclusions de ces études n'ont pas toujours fait l'objet de publications, elles ont souvent été reprises par des synthèses effectuées par les autorités de sûreté.

Pratiquement, deux méthodes ont été utilisées pour permettre d'évaluer la probabilité de rupture d'une famille de récipients sous pression. Une méthode statistique utilisable, lorsque.la population est importante, une méthode probabiliste pour les familles peu nombreuses.

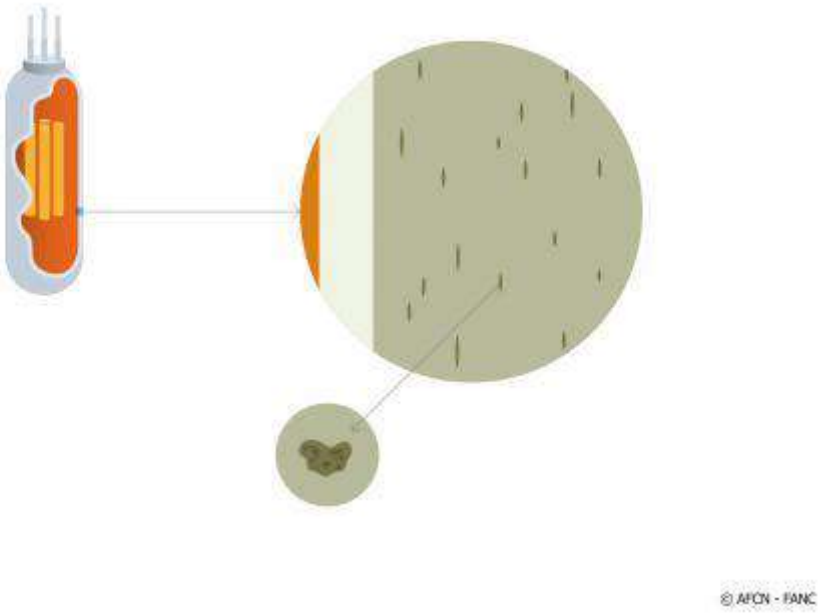


Figure.2.7. Exemple des fissures débouchant dans la cuve.

II.8.Facies de rupture dans le joint de soudure :

Après une macro analyse des facies (à l'œil nu), on a remarqué un allongement assez important de l'éprouvette ce qui laisse à dire qu'il y a eu une rupture ductile. Afin de confirmer, on a effectué une analyse de la surface de rupture au MEB, cette analyse a révélé la présence de cupules (voir figure). [17]

Ce qui soutient l'hypothèse d'une rupture ductile mais ont à aussi observer la présence de cassure avec un aspect fragile dans quelque zone du facies. On se référant à l'analyse EDS effectuer à ce niveau on a remarqué que ces des précipité de type Mg2Si.

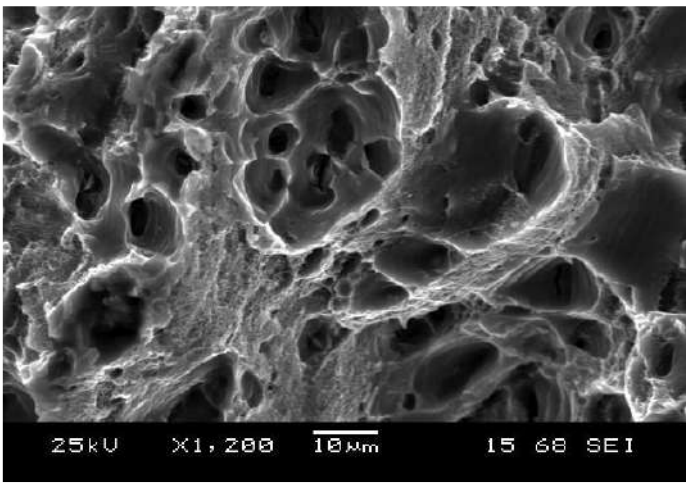


Figure.2.8.Micrographie en BES du facies de rupture

II.9.Les contraintes résiduelles dans les assemblages soudés :

Les contraintes résiduelles présentes dans les assemblages mécanosoudés sont le résultat d'une incompatibilité de déformations thermomécaniques localisée, produite par un gradient thermique très élevé (Zinn & Scholtes, 2002). En effet, lors du passage de l'arc, la différence importante entre la température du bain de fusion et celle plus loin dans le métal de base engendre deux phénomènes connus pour influencer le niveau de contraintes résiduelles: (Zinn & Scholtes, 2002). Une expansion du volume non-soudé, près de la ligne de fusion, lors du passage de l'arc. Une contraction importante du volume soudé lors du refroidissement. Cependant, ces changements de volume n'auront aucun effet sur l'apparition et le niveau des

contraintes résiduelles s'ils ne font pas face à une opposition suffisante de la "matrice" environnante. En effet, la seule augmentation de la température n'est pas suffisante pour produire des déformations plastiques. Ainsi, lorsque la barre est libre aucune déformation n'est engendrée par le chargement thermique. Cette configuration se traduit par une absence de contraintes résiduelles dans la géométrie, lorsque la barre est encastrée un chargement thermique équivalent produit des déformations plastiques dès que la limite d'élasticité est atteinte. Dans la Figure.2.9, le terme n_ représente la température à laquelle il y a écoulement du matériau. [18]

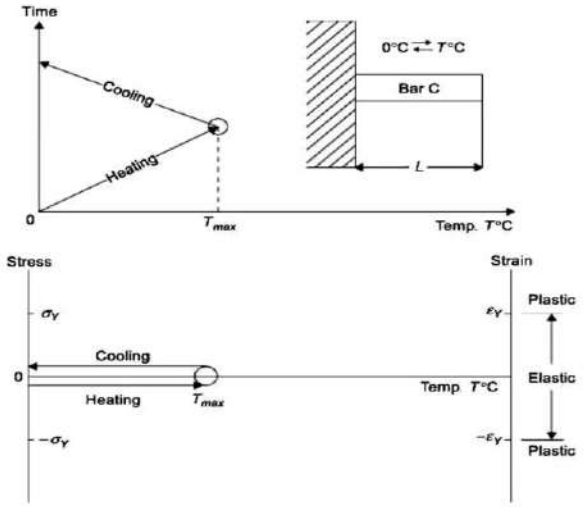


Figure.2.9.1. Historique thermique et contraintes résiduelles d'une barre libre (Ueda, Murakawa, & Ma, 2012)

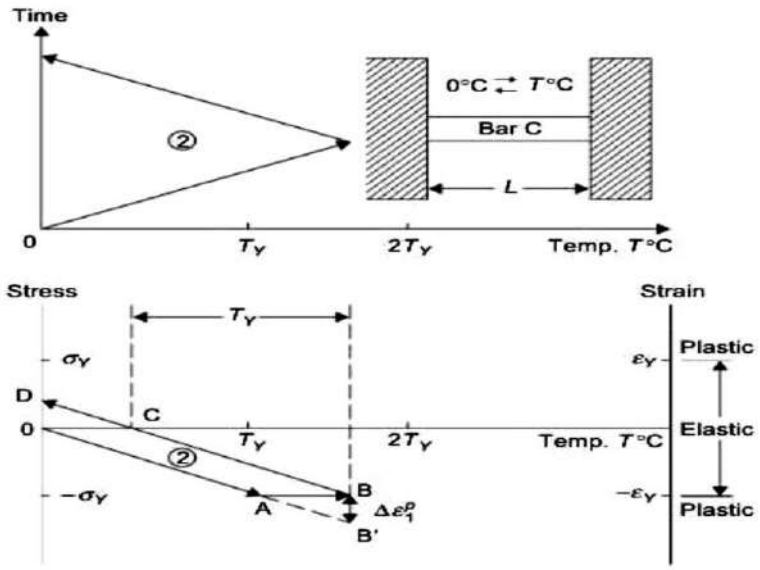


Figure.2.9.2. Température, déformation et contraintes résiduelles d'une barre encastrée.

Ainsi, comme stipulé par (Zinn & Scholtes, 2002), lorsque le cordon fraichement déposé se refroidit et se contracte, le milieu froid l'entourant s'oppose à cette contraction sévère. Il s'en suit donc une augmentation significative des déformations mécaniques jusqu'à l'écoulement du matériau. Noter que cet écoulement est, lui aussi, dépendant de la température du volume soudé et que le niveau des contraintes résiduelles ne dépasse jamais la valeur __* du métal de base ou du métal d'apport. C'est ainsi que ces déformations plastiques produisent tant longitudinalement que transversalement, au centre d'une plaque soudée bout à bout, un champ de contraintes résiduelles de tension. Toutefois, le niveau de contraintes résiduelles est nettement supérieur dans la direction longitudinale puisque le bridage intrinsèque de la plaque est plus important dans cette direction. La présence de déformations plastiques près de la ligne de fusion s'explique de la manière suivante. Malgré le fait que le volume de matériau influencé par l'augmentation de température n'atteint pas le point de fusion, l'augmentation volumique qu'il subit, combinée à une opposition conséquente du matériau l'entourant, sont des facteurs suffisant pour atteindre la limite d'écoulement. Cette expansion retenue du volume de matière provoque des contraintes résiduelles de compression près de la ligne de fusion, c'est-à-dire, dans la zone affectée thermiquement (ZAT).

La Figure.2.9.2. montre bien la distribution des contraintes résiduelles longitudinales et transversales dans une plaque soudée bout à bout dans un alliage d'aluminium possédant une contrainte à l'écoulement d'environ 125 M Pa .

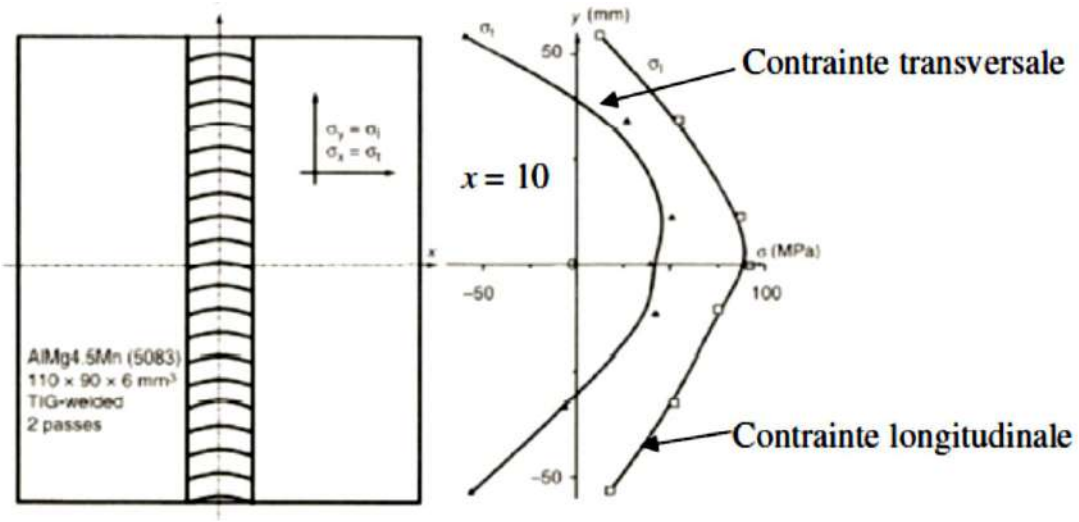


Figure.2.9.3.presentation des contraintes transversale et longitudinale.

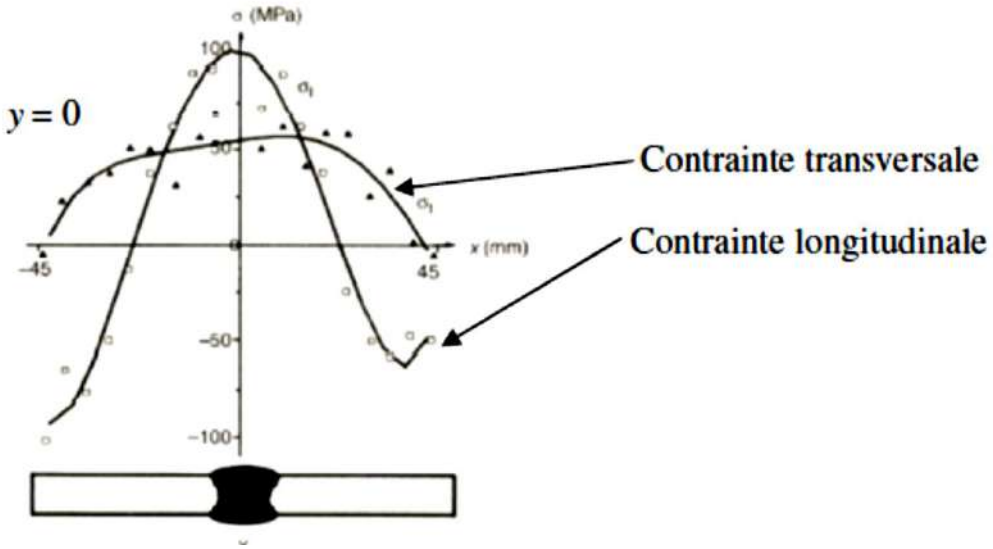


Figure.2.9.4. Distribution des contraintes résiduelles longitudinales et transversales d'une plaque en aluminium soudée bout à bout. sy et sl contraintes parallèles à la ligne de fusion, ces contraintes perpendiculaires à la ligne de fusion (Zinn, 1990).

II.10. Facteur d'intensité et de l'intensité de contraintes en trois Dimensions :

Le calcul du facteur d'intensité de contraintes dans des situations tridimensionnelles est rendu fréquemment nécessaire par des problèmes industriels, Il est souvent limité à des chargements symétriques en mode .Dans la pratique il est nécessaire de considérer non seulement les contraintes uniformes mais aussi le gradient de contraintes comme. Par exemple celui rencontré lors d'un choc thermique.

Dans le cas où le chargement appliqué sur le solide fissuré est variable dans le temps .il est préférable d'utiliser une méthode conçue pour ne pas répéter le calcul dans sa totalité pour chaque étape de chargement .La connaissance des fonctions de pois tridimensionnelles, définies par « Bueckner » et « Rice » permet de résoudre ce problème. « Atluri et Kathiresan» « Mc Gowan et Raymund » estiment ces fonctions par éléments finis.

Le calcul du facteur d'intensité de contraintes dans des structures sous pression en présence d'un défaut semi-elliptique exige l'introduction du facteur de forme géométrique. Ce facteur est définie par une fonction dite « fonction d'influence polynomiale ».dépendant de la forme du défaut, de l'épaisseur de l'éprouvette et de l'évolution du rapport de la profondeur du défaut sur

l'épaisseur (a/t), et aussi l'évolution du rapport de la profondeur du défaut sur la longueur de lui-même (a/c).

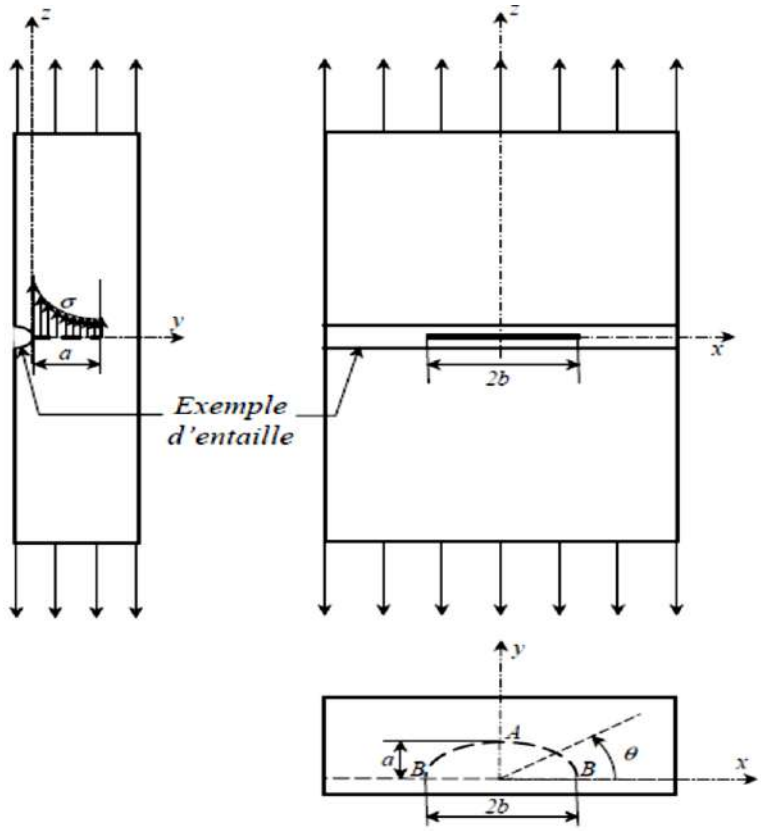


Figure.10.1. Fissure semi-elliptique débouchant dans une surface et au voisinage d'une entaille

II.11 .Description du modèle étudié :

II.11.1. Dimensionnement de la structure :

Le modèle de structure est une cuve d'un centrale nucléaire de recherche « essalam », elle En forme semi-cylindrique. Les données géométriques normalisées de la cuve sont : le rayon extérieur (Rext = 1421 mm), le rayon intérieur (Rint = 1405 mm), l'épaisseur du tube est (t = 8 mm), longueur du la cuve est (L = 8000 mm).

Dans cette étude en prenez une partie simplifier de la cuve, cette partie est assemblée avec une joint de soudure (le matériau d'apport de même structure chimique est même propriété mécanique, physique et chimique). Cette partie de longueur de (L=195 mm), le rayon extérieur (Rext = 1421 mm), le rayon intérieur est (Rint=702.5), l'épaisseur dans la zone de joint de soudure est (t=8mm),

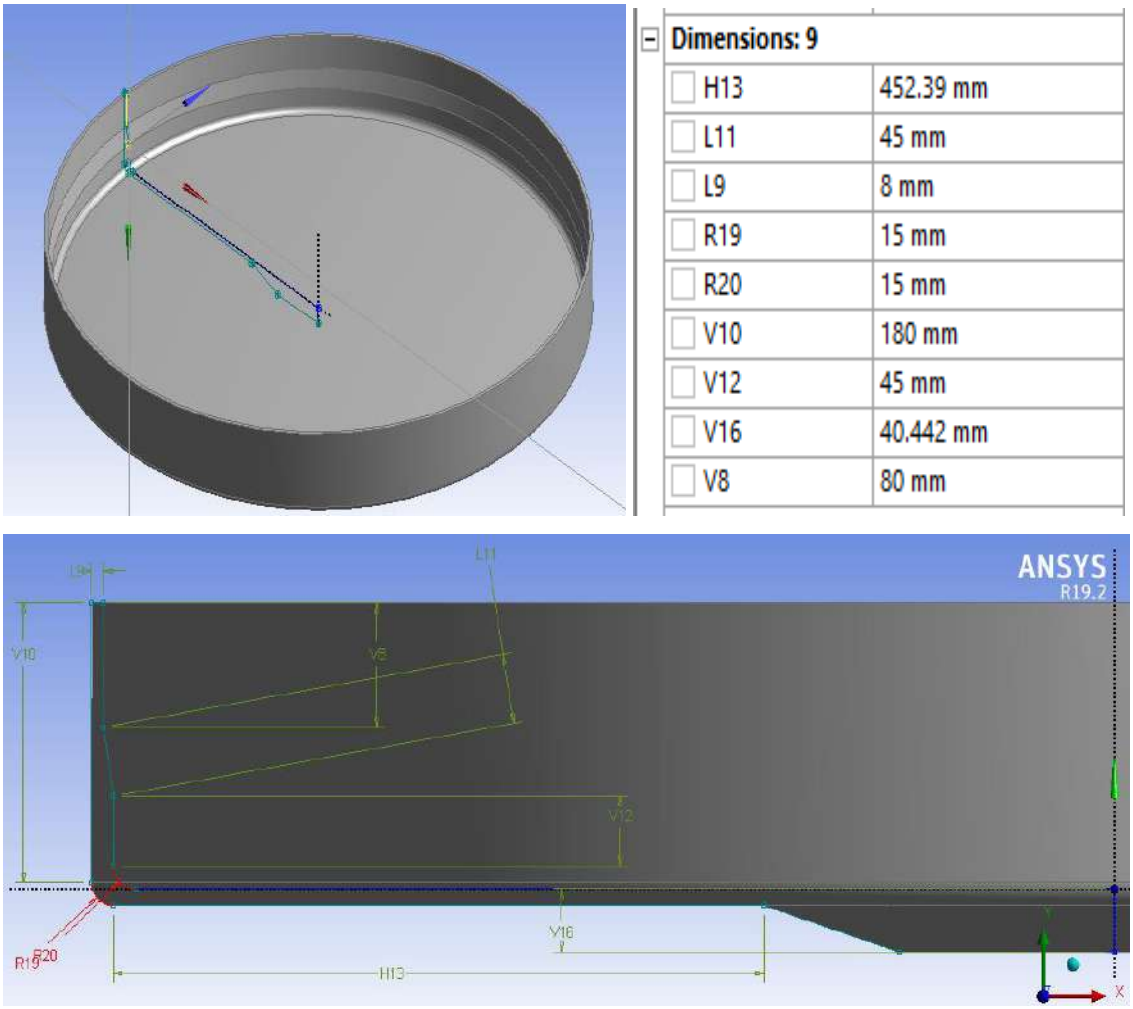


Figure.2.11. la géométrie de la partie étudiée de a cuve de réacteur.

II .12. Calcul du facteur d'intensité et de l'intensité de contraintes en trois dimensions par la norme ASME :

Dans cette étude en utilise les résultats à ceux obtenir selon la procédure décrite sur l'appendice D de la section viii-division 3 du code ASME .cette dernière donne un FIC selon l'équation :

$$K1=[\ A0 + Ap\ )G0 + A1G1 +\ A2G2 + A3G3]\ \sqrt{\pi a/Q} \qquad (2.1)$$

les valeurs de Ai et Ap sont calculées à partir de la contrainte normale à la surface de la fissure. Cette dernière a la distribution donnée par l'équation :

$$\sigma=A'0 + A'1(x/t) + A'2(x/t)^2 + A'3(x/t)^3 \qquad (2.2)$$

pour chaque valeur de a/t, les valeurs de A'i sont convertis aux A' comme suit :

$A0 = A'0, A1 = A'(a/t), A2 = A'2(a/t)^2, A3 = A'3(a/t)^3$ (2.3)

Ou Gi (i=0-3) sont les facteurs de correction géométrique et Q l'intégrale elliptique donnée par : $Q = 1+4.593(\frac{a}{2c})^{1.65}$ (2.4)

Pour calculer les Ki pour chaque a/c on utilise le programme EXCEL

En faire une application numérique avec des conditions initiales sont :

r : rayon intérieur, t : l'épaisseur de la paroi de la cuve, p : la charge appliqué sur le joint de soudure.

Dans cette application en faire une application numérique pour r int = 702.5, t = 8mm et

p = 0.07 Mpa, on a deux cas :

- a/t=0,25 pour a/c=0.25 et a/c=0.5
- a/t=0.5pour a/c=0.75 et a/c=1

Q = 2.4635142

Gi	G0=1.0543	G1=0.7451	G2=0.6093	G3=0.5289
Ai	A0=-1.7951E-05	A1=0.00030397	A2=0.00444987	A3=0.09659489
a/c	0.25	0.5	0.75	1
K ASME	0.29865918	0.26442564	0.2370041	0.2149822

Tableau.2.2.les valeurs des FIC environ la fissure semi-elliptique dans la cuve

II .12.Conclusion

Dans ce chapitre en défini le problème d'endommagement des fissures dans les joints de soudure des cuve des réacteurs de recherche, on observe que les contraintes résiduelles et les valeurs des facteurs d'intensité de contrainte (FIC) se sont des paramètres importants pour définie certain cas des fissurations des matériaux.

A partir du calcule de FIC en conclure que la valeur du facteur d'intensité de contrainte est diminué lorsque la valeur de a/c est augmentation si t à dire la propagation de fissure est a relation avec le profondeur et la surface de la taille fissurée.

Chapitre III

Modélisation et simulation de la fissure et le calcule de FIC en trois dimensions

III.1. Introduction

Ce chapitre illustre la modélisation et la simulation du modèle étudié, on va utiliser le code ANSYS pour calculer le facteur d'intensité de contrainte dans un joint longitudinal à la cuve de la centrale nucléaire.

Pour mener notre étude par simulation numérique, on a utilisé le code numérique « ANSYS », qui est l'un des codes de calcul, basé sur la méthode d'éléments finis, parmi les plus utilisés dans le monde, Le code « ANSYS » comprend plusieurs composantes telles que : ANSYS/Professionnel, ANSYS/Multiphasiques, ANSYS/Structural…etc. Chaque Composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie, et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquats (type d'élément, conditions aux limites, tracées,….etc.).

Dans cette analyse, on a utilisé « ANSYS.19.2 », qui permet de traiter la majorité des problèmes de mécanique de la rupture et fissuration des structures. Il offre des outils puissants pour l'analyse en deux et trois dimensions.

Une analyse de structure permet de prédire la réponse d'un milieu (solide ou fluide) soumis à des conditions imposées par l'environnement externe (force, déplacement, flux thermique,...).

Le but d'une analyse structurale est de déterminer les contraintes et déformations d'un système ou un composant auquel on applique un chargement, cela à partir des déplacements {u} créés par ce chargement {F}. Cette prédiction est basée sur la satisfaction de quelques équations fondamentales (équation d'équilibre mécanique, équation de la chaleur, loi de comportement…).

Le logiciel ANSYS, dans sa version ANSYS Mechanical ou Multiphysics, permet une gamme complète d'analyses structurales. Ainsi ANSYS gère trois types principaux d'analyse structurale mécaniques, auxquelles il faut ajouter les analyses de chargement thermiques

(traitées au cours des TP d'analyses thermiques et de couplages thermo-mécaniques), et les analyses des réponses propres de la structure (flambement et modes de résonnance propres en particulier) :

- les analyses statiques linéaires considèrent que les forces sont appliquées de façon statique (pas de variation au cours du temps (inertie), et aucun effet d'amortissement), sur des matériaux présentant un comportement élastique linéaire.

Les analyses statiques non linéaires permettent, elles, de modéliser des situations où les chargements (contacts ou larges déformations, par exemple) et/ou les propriétés des matériaux (plasticité, écrouissage, hyperélasticité,…) associés varient en fonction de la déformation ou de la contrainte imposée.

Pour une analyse dynamique, ANSYS fait automatiquement appel au solveur dynamique explicite LS-DYNA, en exportant le modèle vers le solveur via un fichier k.

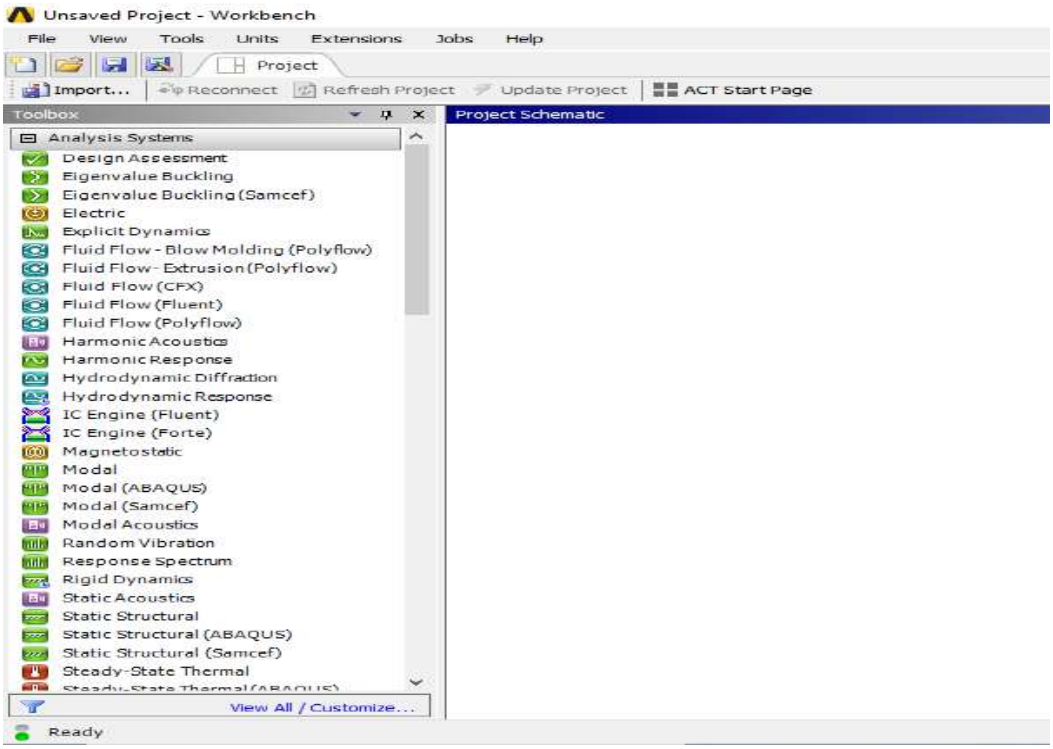


Figure.3.1.la fenêtre du code ANSYS 19.2 unsaved .project- workbench

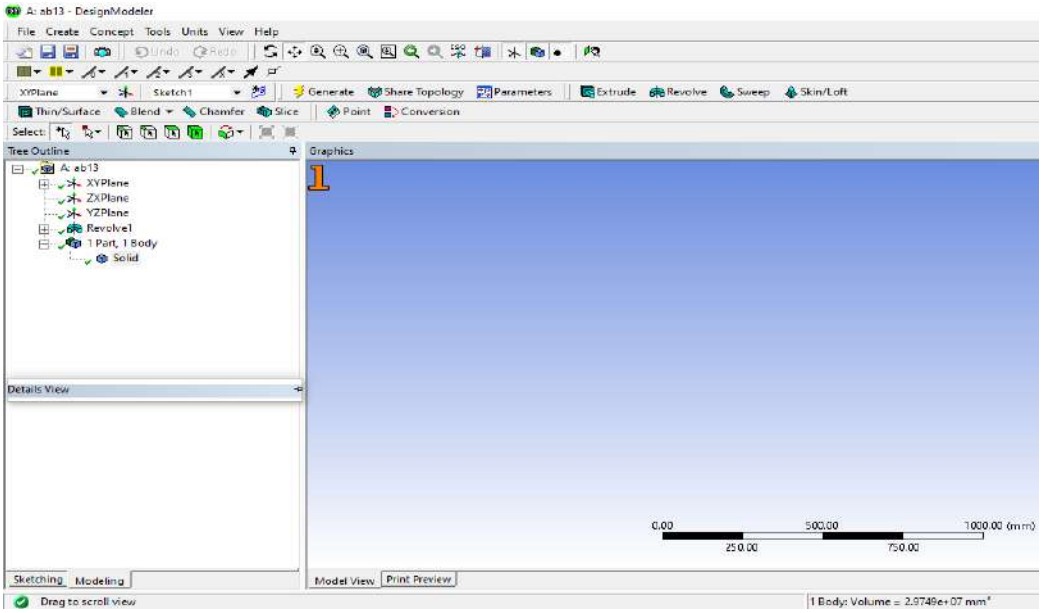


Figure.3.2.la fenêtre du design modeler.

III.2. Dimensionnement de la structure :

Pour cette simulation on utilise la partie inferieur qui est assemblé dans équipement da la cuve, cette partie de longueur de 195mm et de rayon extérieur Rext = 1421mm et Rint = 1405 et de épaisseur de 8mm.

On calcule le facteur d'intensité de contrainte (FIC) en pression interne de p = 0.07MPA.

Le modèle est dimensionné comme indiqué ci-dessous.

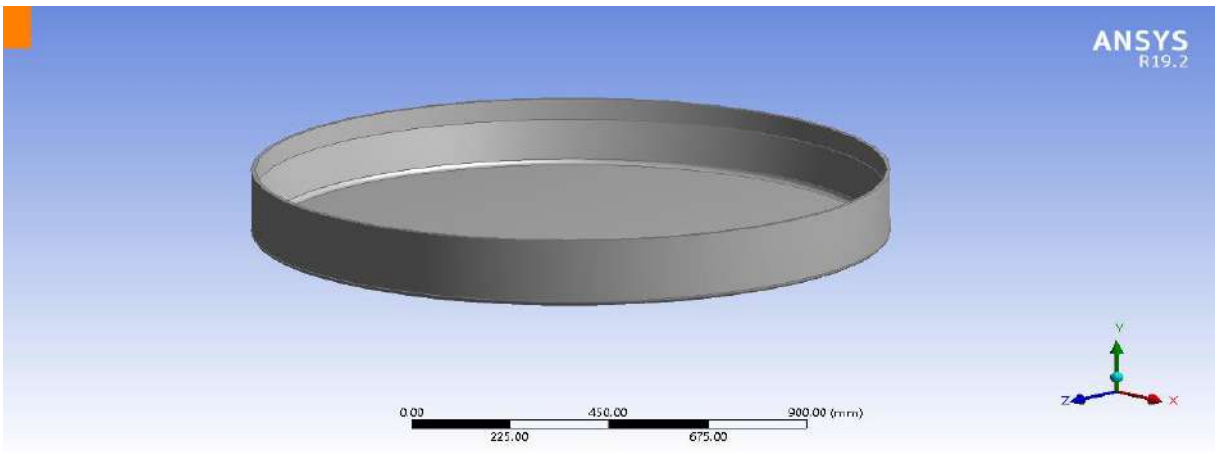


Figure.3.3.la partie simplifier de la cuve

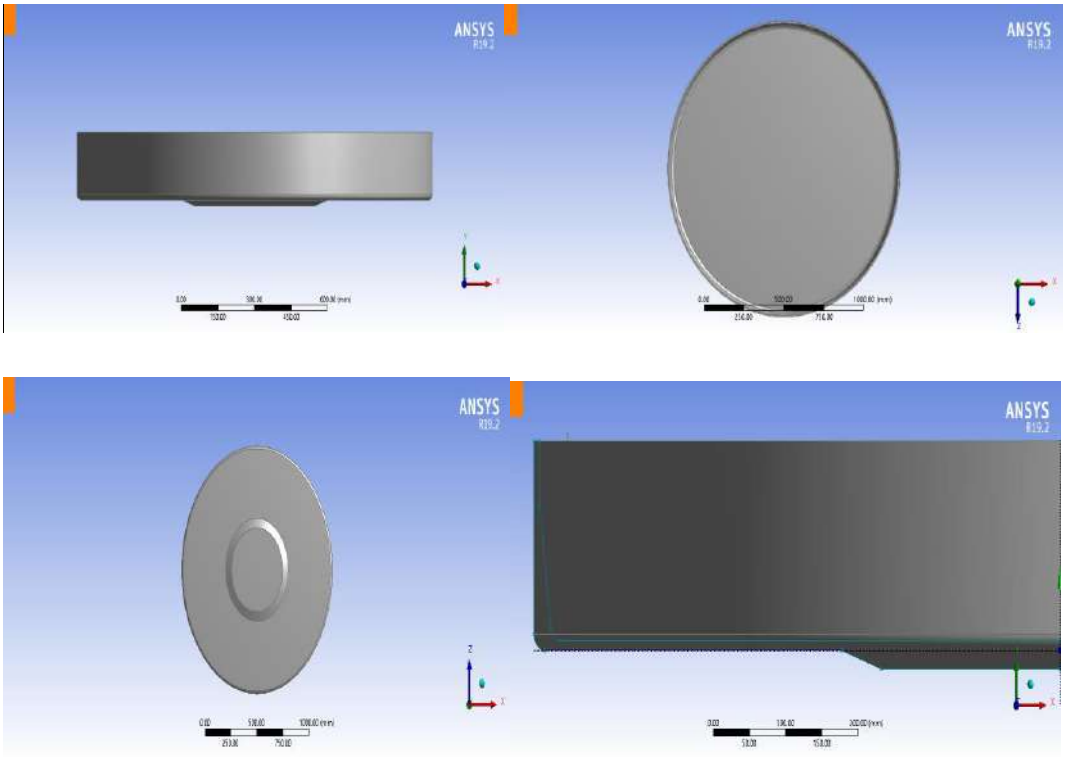


figure.3.4.les principaux vues géométrique de la partie étudier.

III.3.Propriétés de matériau utilisé :

Module de Yong : 68.9 GPA (9990 KSI)

Rm : 304 MPA

Re : 276 MPA

Allongement % : 3.6

La masse volumique : 2.70 kg/dm3

Coefficient de dilatation linéique : 23.6 c

Capacité thermique massive : 940 j/kg c

Etat : T6

Résistivité à (20 c) : 4.2

Conductivité thermique : 174 w/mc

III.4.Les conditions aux limites :

On a deux conditions aux limites dans cette simulation :

III.4.1.la charge axiale sur le joint de soudure : ces charge sous forme des contraintes résiduelle au l'intérieur de la cuve de réacteur p = 0.07 Mpa.

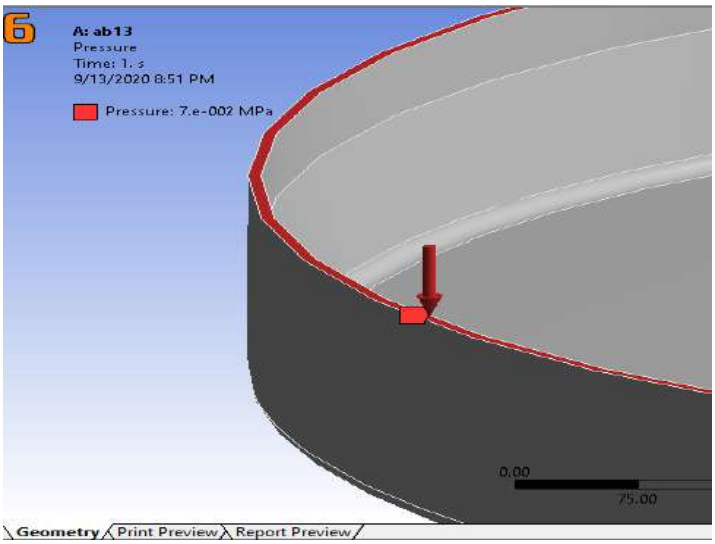


Figure.3.5.representation de la charge appliquée sur le joint de soudure

III.4.2.le support fixe :

La cuve de réacteur est fixée sur une sole d'un matériau résistant au choc mécanique et thermique.

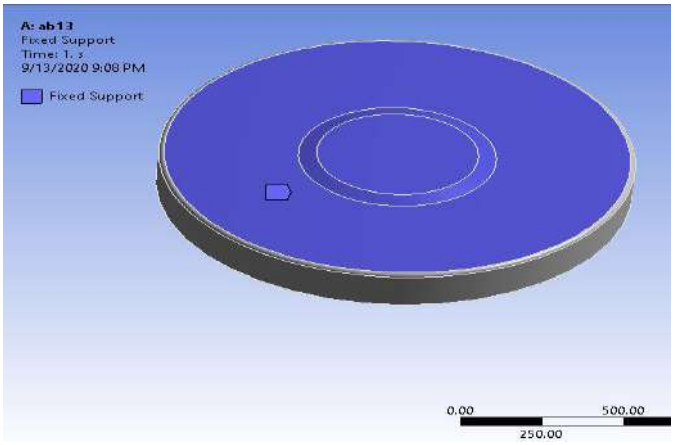


Figure.3.6.representation de surface du support fixe

suivant l'axe « OX » « Oy »

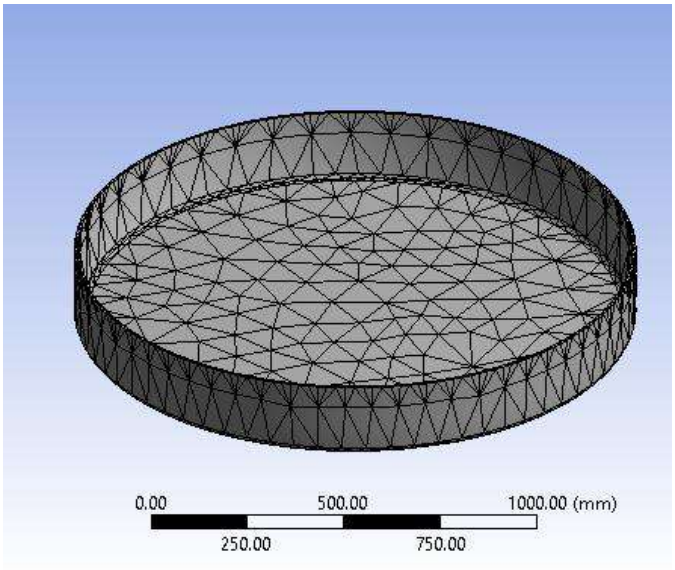


Figure.3.7.le maillage de modèle par le code ANSYS

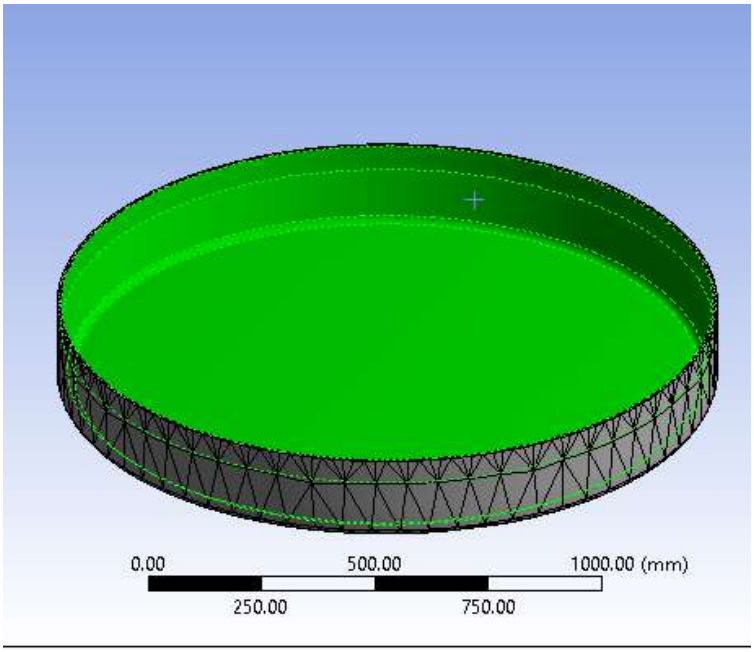


Figure.3.8. Présentation de Conditions aux limites de la structure Etudiée et l'application de la charge / ANSYS.

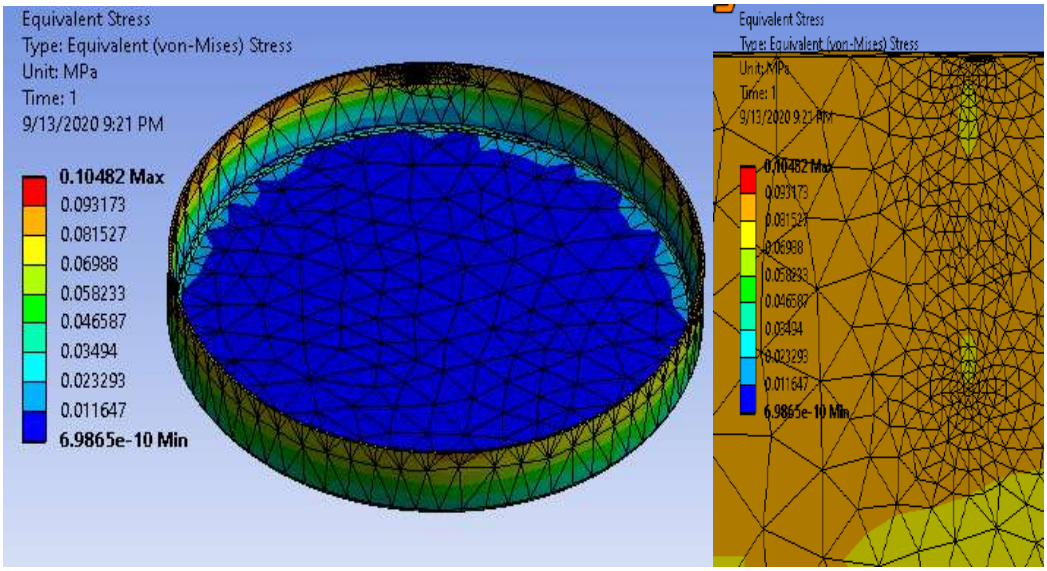


Figure.3.9.La charge appliquée sur la fissure [la surface et frontière]
Avec fixation en trois directions de structure.

III.5.Les résultats de simulation :

La configuration étudiée (la cuve de réacteur), représente une composante de structure comportant un défaut initial de forme semi-elliptique, soumise à un chargement de pression interne. Les champs de contraintes et de déplacements pour chaque cas considéré et obtenu par un calcul aux éléments finis, qui englobe des éléments solides iso paramétriques en trois dimensions à plusieurs nœuds autour du front de fissure.

Le but cette analyse ou simulation est l'étude du comportement des fissures de forme semi-elliptique crée au niveau d'une cuve de réacteur nucléaire que nous avons étudié,

Cette analyse contient les calculs de Facteur d'intensité de contrainte « K_I » en trois dimensions, les valeurs de déformations suivant les axes (OX, OY et OZ) et les Contraintes, tout ces calculs sont étudiés en front de fissure.

Nous avons étudié et simulé la structure en quatre cas de dimensionnements de fissures semi elliptiques.

- **Premier cas** : a/t = 0.25 et a/c = 1 Donc a = 2 mm et c = 8mm.
- **Deuxième cas** : a/t = 0.25 et a/c = 0.25 Donc a = 2 mm et c = 4mm.
- **Troisième cas** : a/t = 0.5 et a/c = 0.0625 Donc a = 4 mm et c = 5.33mm.
- **Quatrième cas :** a/t = 0.5 et a/c = 1 Donc a = 4 mm et c = 4mm.

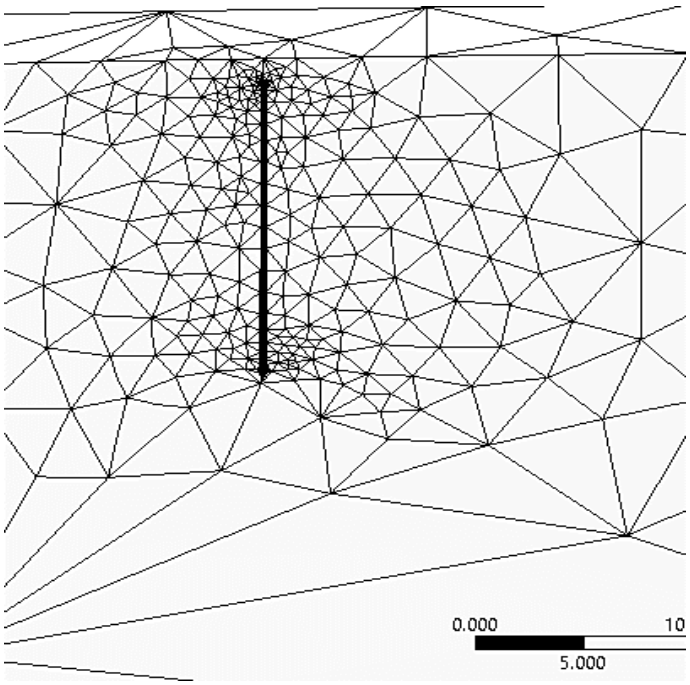


Figure.3.10.Premier cas : fissure de dimensions (a/t = 0.25 et a/c=0.25).

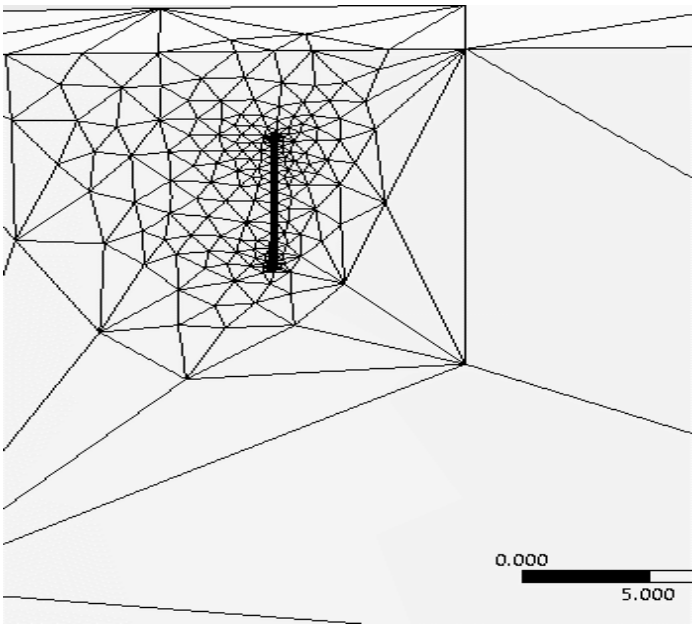


Figure.3.11.Deuxième cas : fissure de dimensions (a/t = 0.25 et a/c=0.5).

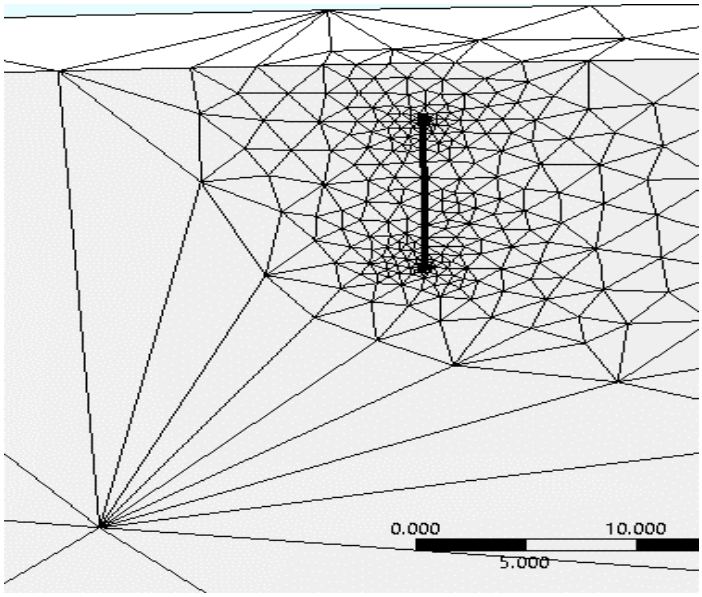


Figure.3.12.troisiéme cas : fissure de dimensions (a/t = 0.5 et a/c=0.75).

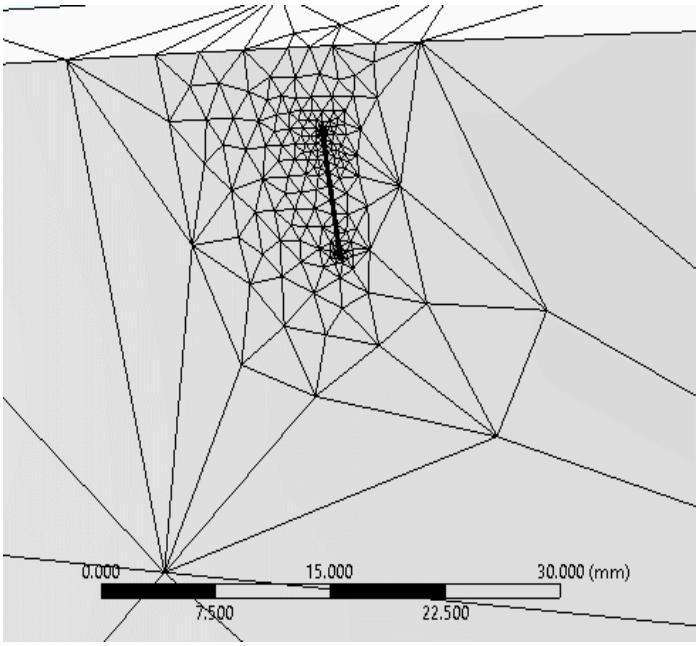


Figure.3.13.Quatrième cas : fissure de dimensions (a/t = 0.5 et a/c=1).

Pour chaque cas on applique des charges internes (pressions internes) hydrostatiques, on a P = 7000 MPA.

III.5.1.Résultats du premier cas :

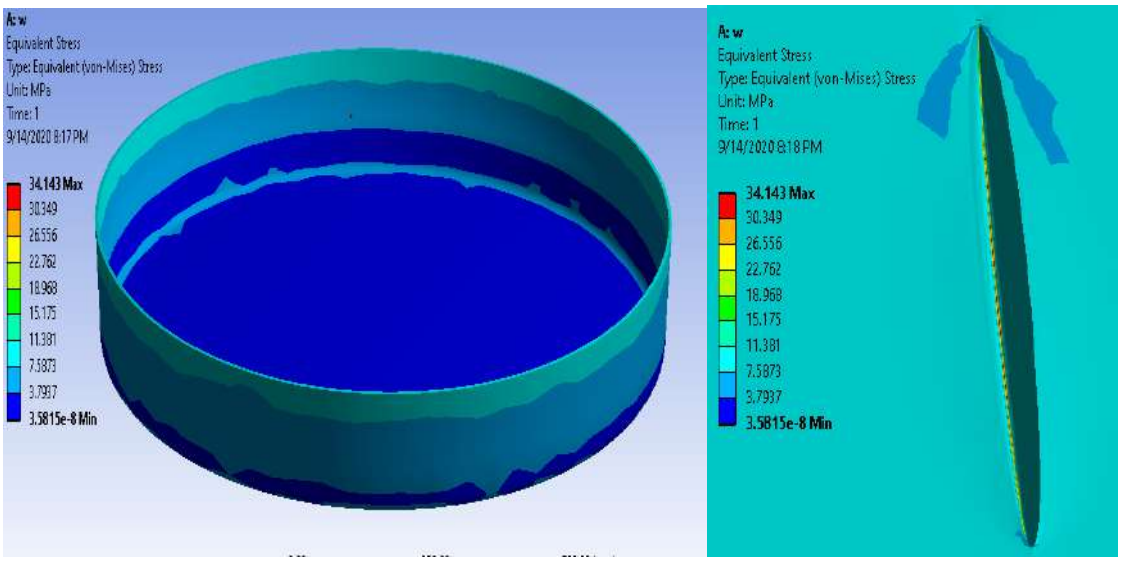


Figure.3.14. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure(a/t = 0.25 et a/c=0.25).

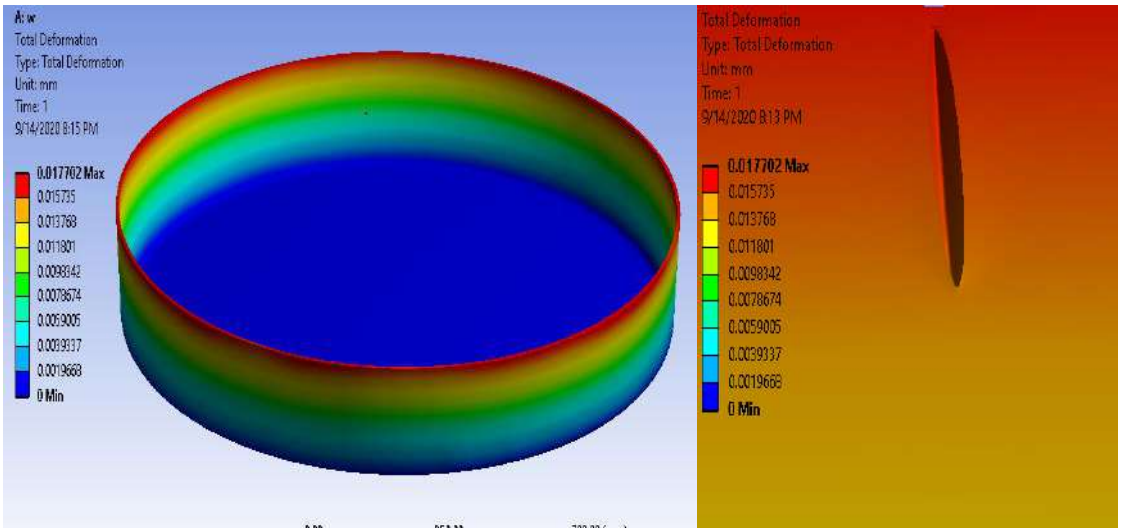


Figure.3.15. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure(a/t = 0.25 et a/c=0.25).

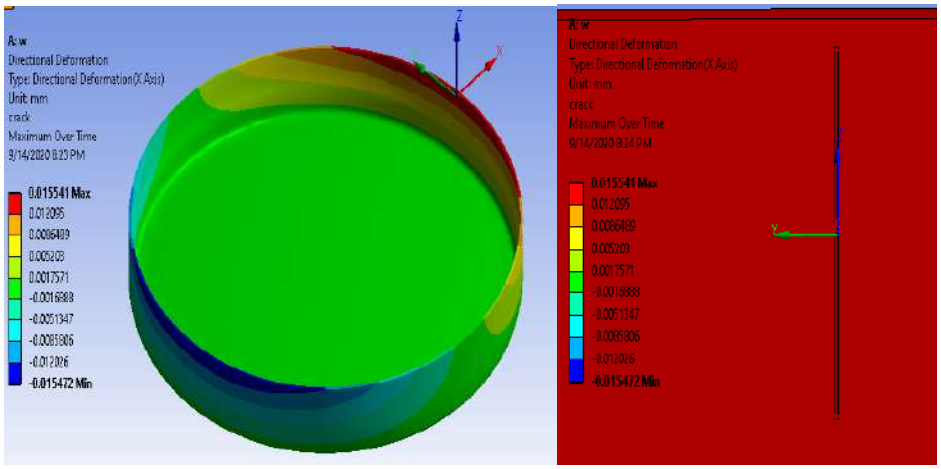


Figure.3.16. Déformations suivant l'axe « ox »
cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.25).

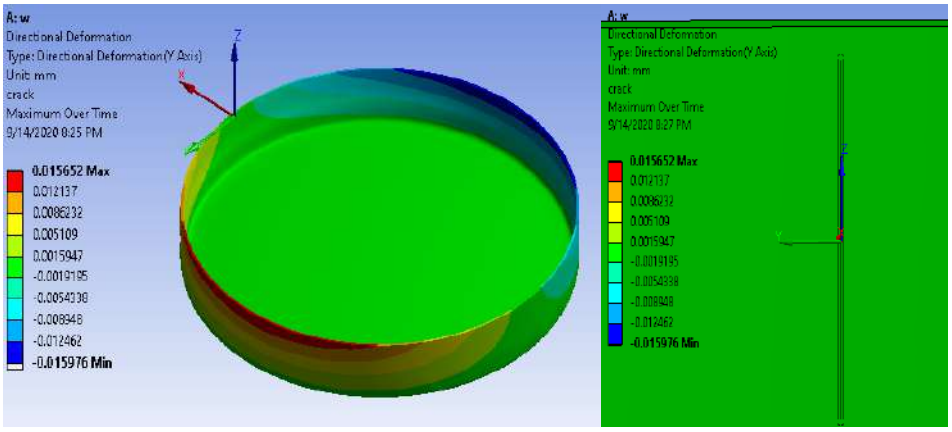


Figure.3.17. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.25).

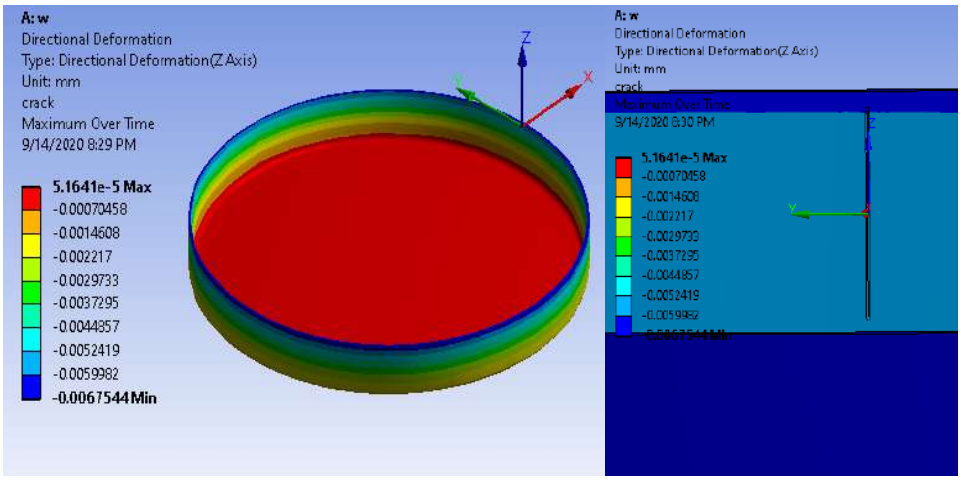


Figure.3.18. Déformations suivant l'axe « oz »
cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.25).

III.5.2Résultats du deuxième cas :

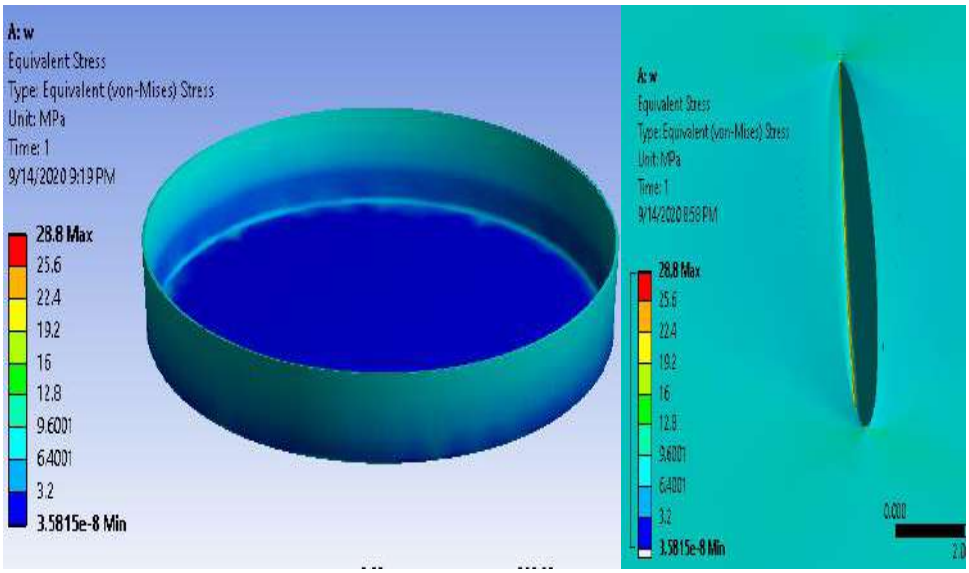


Figure.3.19. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure(a/t = 0.25 et a/c=0.5).

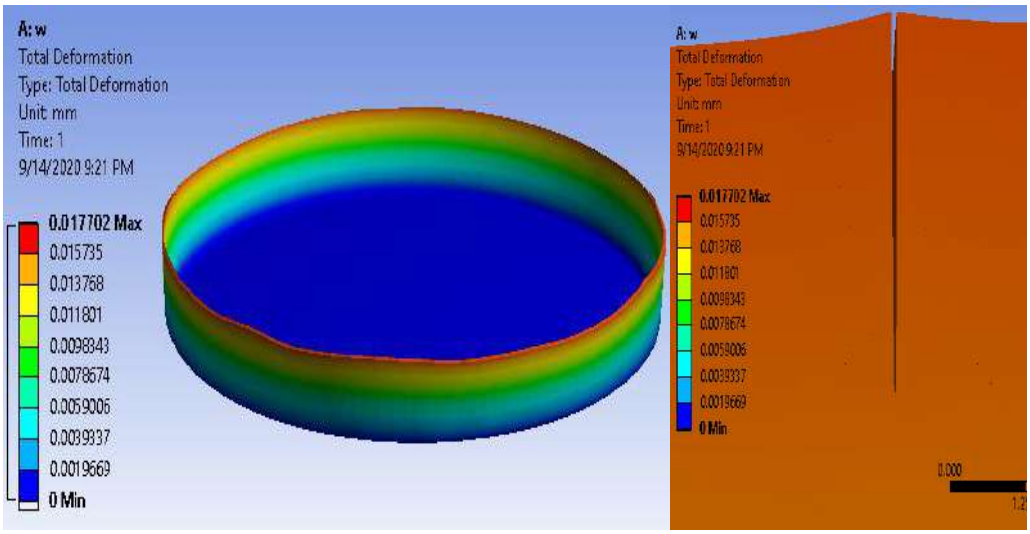


Figure.3.20. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure(a/t = 0.25 et a/c=0.5).

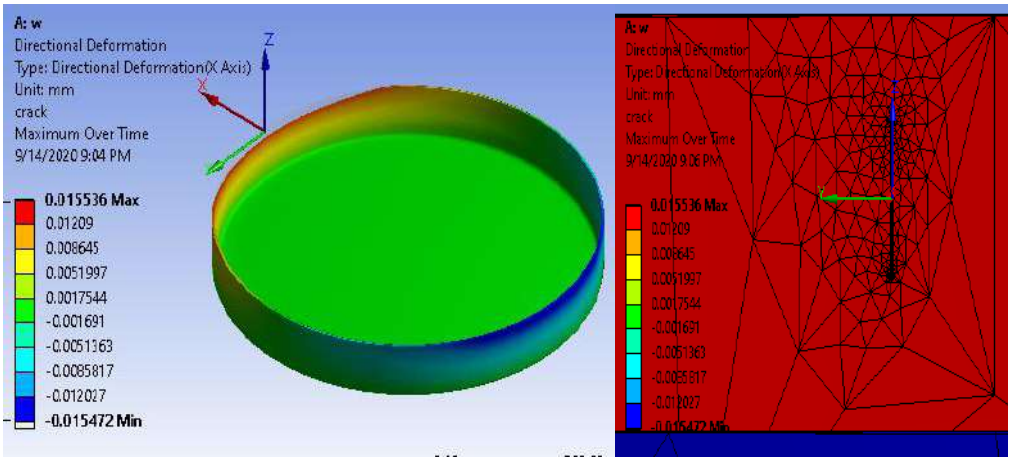


Figure.3.21. Déformations suivant l'axe « ox »

cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.5).

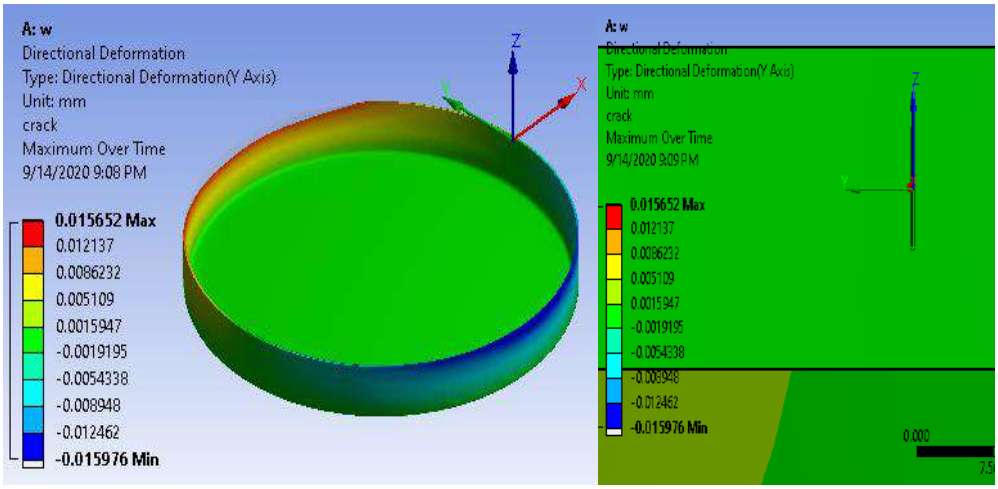


Figure.3.22. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.5).

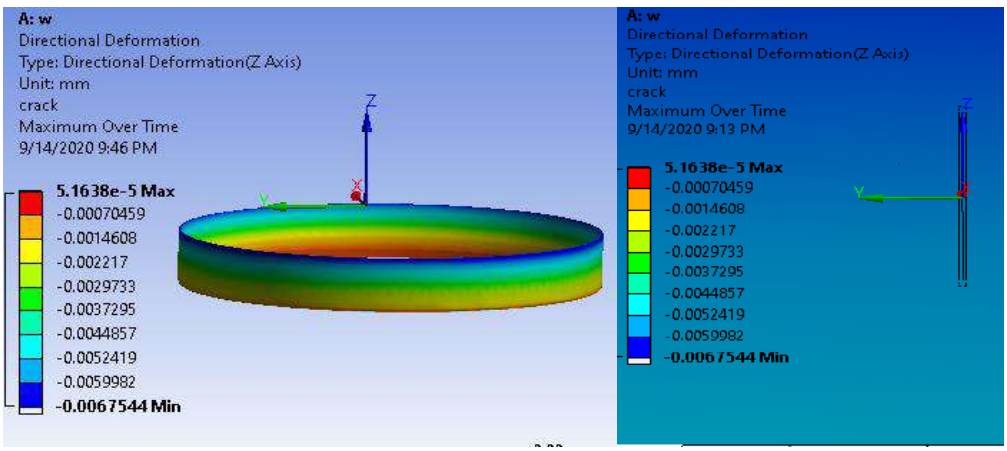


Figure.3.23. Déformations suivant l'axe « oz »

cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.25 et a/c=0.5).

III.5.3.Résultats du troisième cas

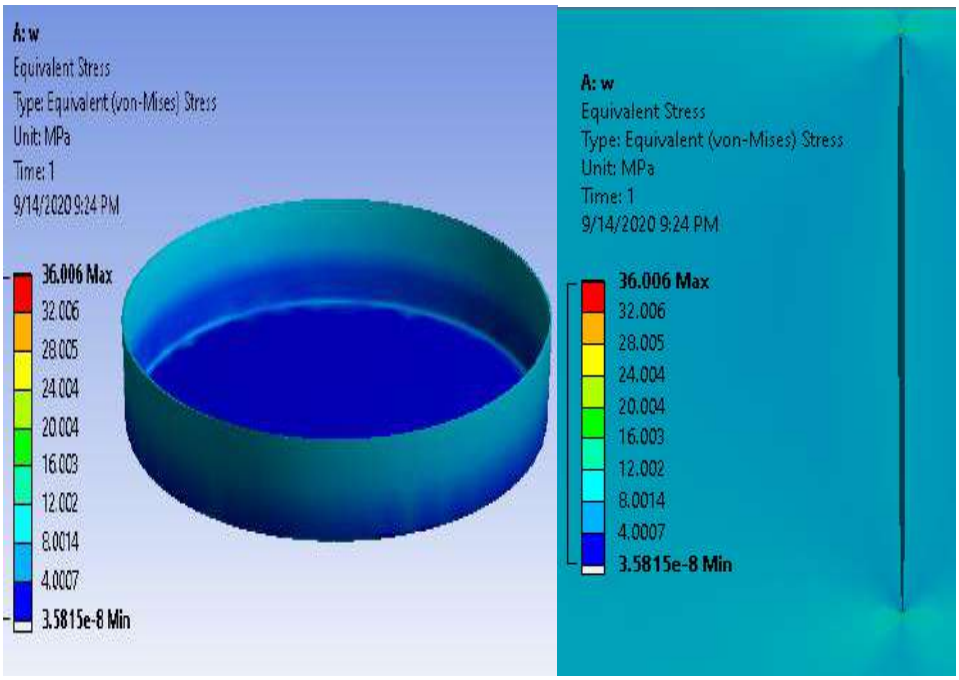


Figure.3.24. Intensité de Contraintes en
surface et en front de fissure(a/t = 0.5 et a/c=0.75).

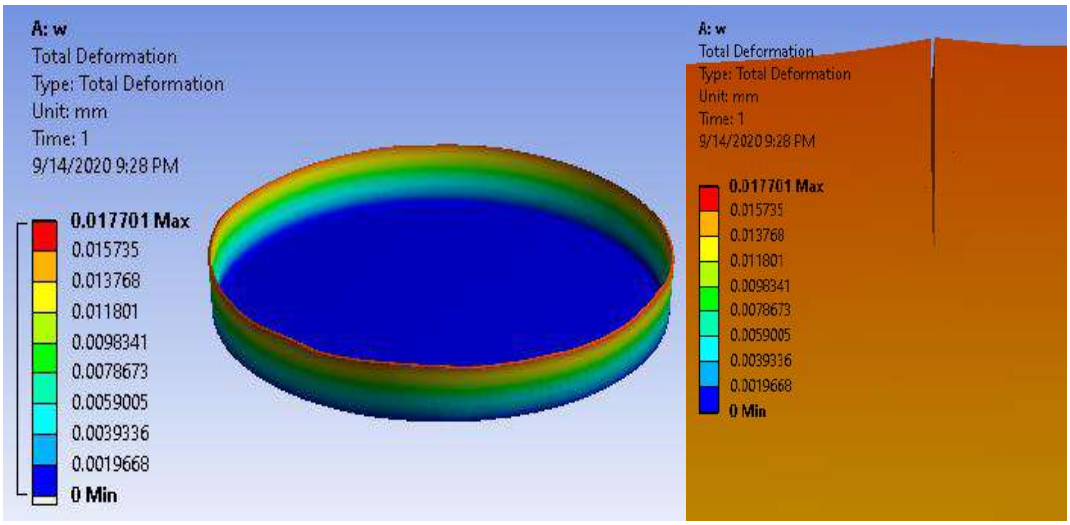


Figure.3.25. Déformations Totale en Trois
Dimensions cuve et fissure (a/t = 0.5 et a/c=0.75).

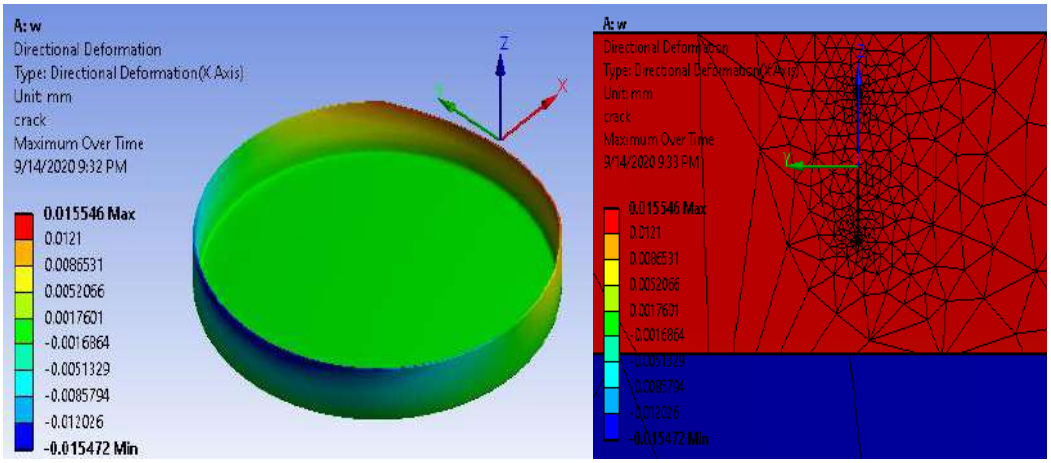


Figure.3.26. Déformations suivant l'axe « ox » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=0.75)

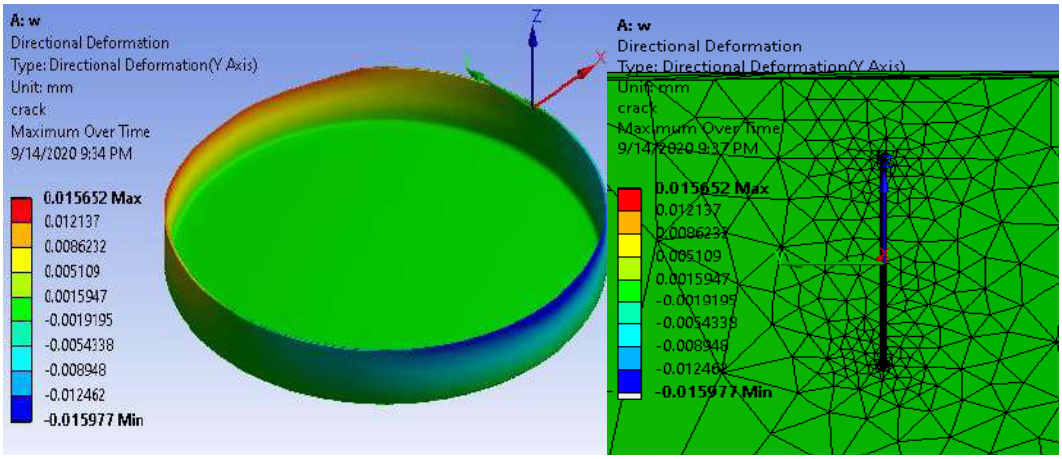


Figure.3.27. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=0.75).

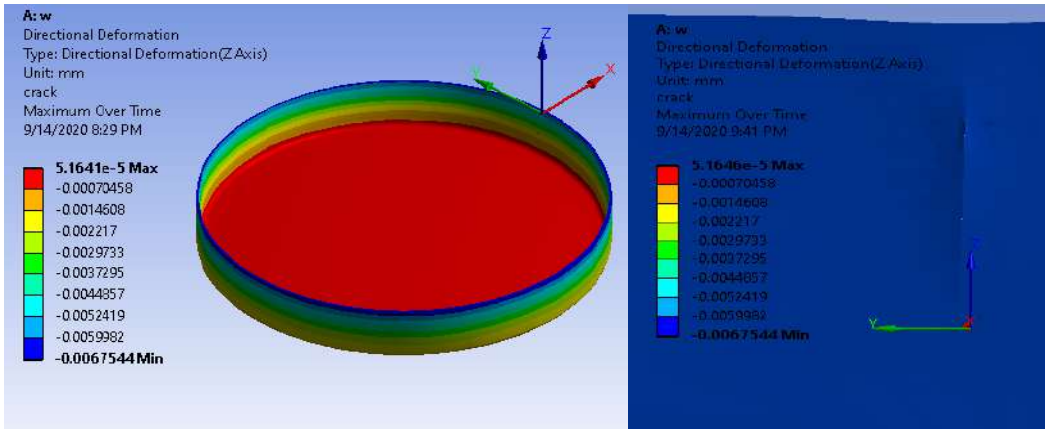


Figure.3.28. Déformations suivant l'axe « oz » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=0.75)

III.5.4.Résultats du quatrième cas :

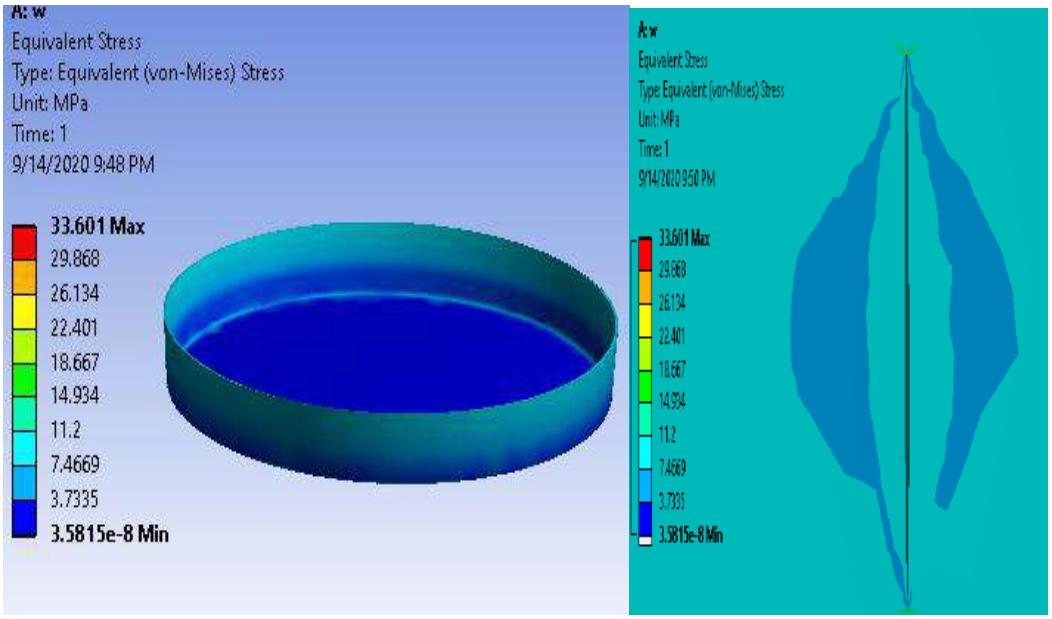


Figure.3.29. Intensité de Contraintes en surface et en front de fissure(a/t = 0.5 et a/c=1).

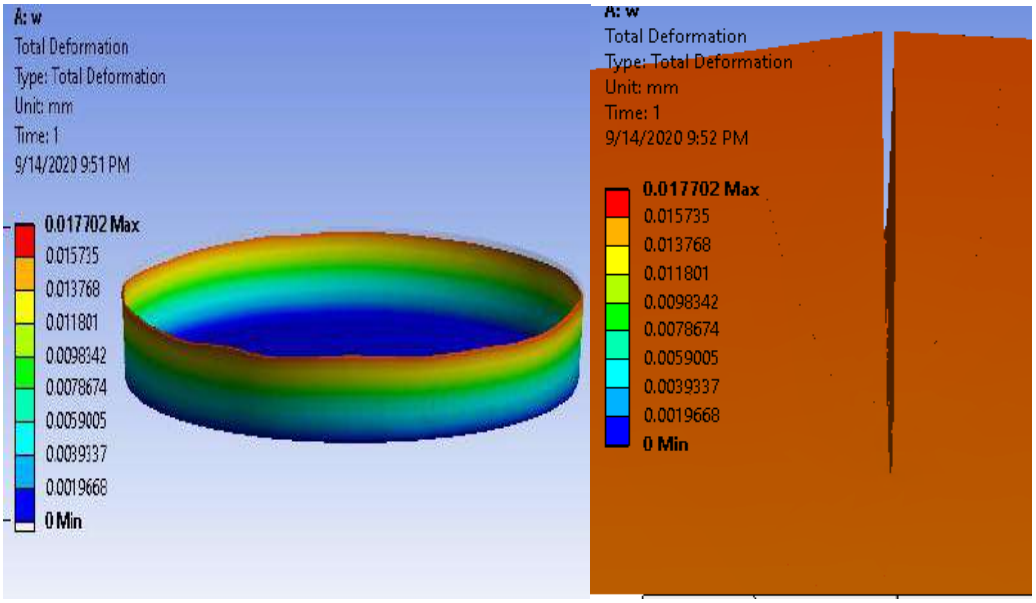


Figure.3.30. Déformations Totale en Trois Dimensions tube et fissure(a/t = 0.5 et a/c=1).

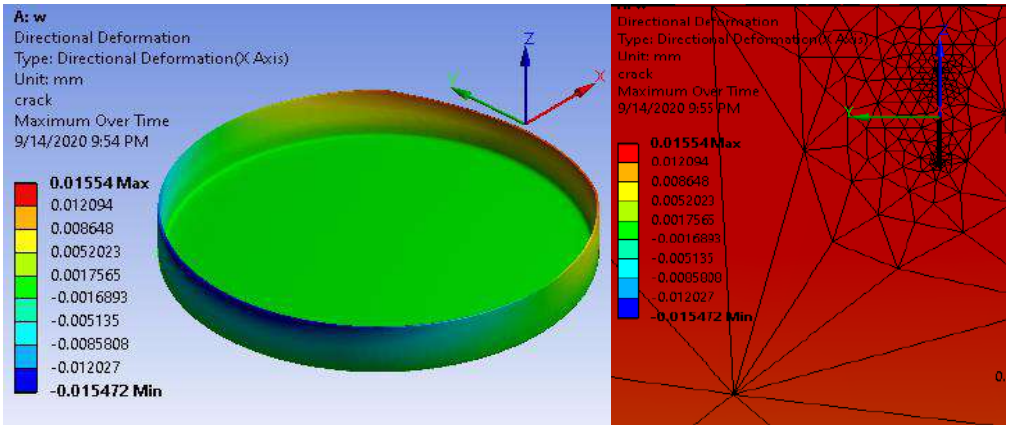


Figure.3.31. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=1).

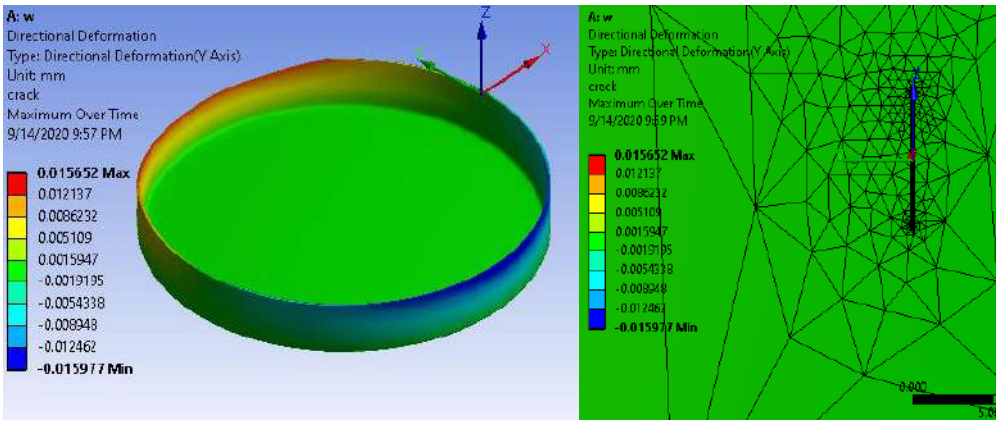


Figure.3.32. Déformations suivant l'axe « oy » cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=1).

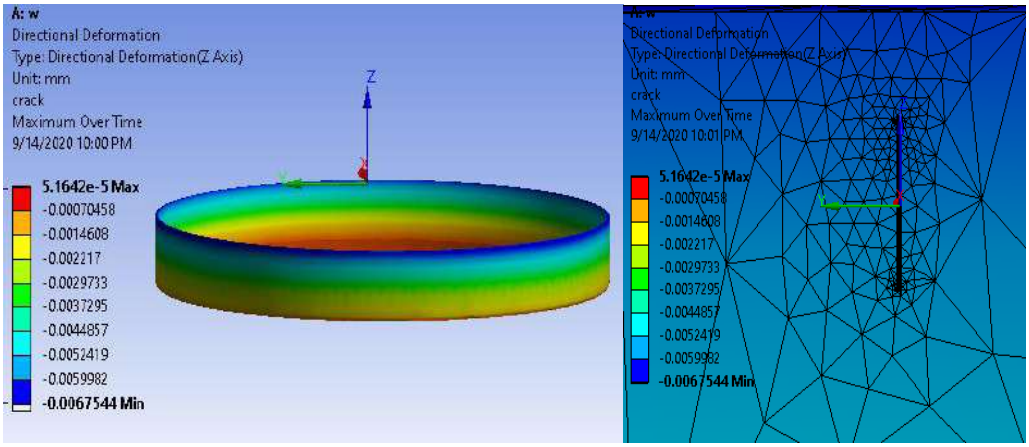


Figure.3.33. Déformations suivant l'axe « oz» cuve et fissure (front et surface) (a/t = 0.5 et a/c=1).

III.6.Discussion des résultats

La Totalité de ces résultats montrent que la valeur d'intensité de contraintes et la déformation totale sont maximales en surface (Φ = 90°), elles sont légèrement plus importante au point le plus profond de surface.

Les résultats du premier cas (a/t = 0,25 et a/c =0.25) montrent qu'il ya une stabilisation de champs ou concentration de contraintes en front de fissure sous la charge de pression interne.

Les résultats du deuxième cas (a/t = 0,25 et a/c =0.5) montrent qu'il ya une fissure moins propagé et moins dangereuse que la premier fissure.

Dans la troisième cas La valeur de (a) (hauteur de la fissure) augmente rapidement et le front de fissuration Atteint, Il est constaté que la fissure en se propageant passe d'une forme semi-elliptique à une forme quasi semi-circulaire. Cette cas elle est plus dangereuse.

Et pour le dernier cas on a a/c=1 y a une fissure parfaitement semi-cylindrique, la fissure est propagent dans les deux axes (ox, oy) avec les paramètres égaux.

Les résultats de simulation montrent clairement que la propagation se fait rapidement et en profondeur qu'ont les paramètres de fissures sont augments.

Quand le rapport a/t est important quand le champ de contraintes appliqué en front de fissure initiale semi-elliptique dans un tube sous pression interne est élevé donc la vitesse de propagation de fissure augmente.

Conclusion générale

Au départ de cette étude numérique avec le code ANSYS, nous avons postulé que la propagation d'une fissure semi-elliptique contenue dans un cuve sous pression interne est gouvernée par l'amplitude d'intensité de contraintes au niveau de front fissure. Cette hypothèse n'est pas mise totalement en défaut en raison de la dispersion obtenue généralement sur la loi de fissuration. Par le biais des résultats de simulation et de calculs aux éléments finis, nous avons examiné en même temps la valeur et l'évolution d'intensité de contraintes même pour la déformation en trois dimensions de la fissure où tout le long du front de fissuration initialement semi-elliptique qui est situé au niveau d'un récipient sous pression interne. Le calcul a été fait à partir des mesures réelles du front de fissuration pour différentes conditions de géométrie **a/c** et **a/t.**

Dans toutes les études rencontrées, pour calculer l'intensité de contraintes et la déformation en trois directions (x,y,z) en front de fissure , on fixe un des deux rapports **a/c** ou **a/t** et l'on fait varier l'autre. quel que soit le matériau utilisé ou la valeur de charge P appliquée ont montré qu'il existe de grandes différences sur :

1) L'évolution d'intensité de contraintes tout le long du front de fissuration,

2) La localisation de la valeur maximale d'intensité de contraintes,

3) L'estimation de la valeur elle-même d'intensité de contraintes comme paramètre gouvernant la fissuration,

4) L'évolution des deux demi-axes de l'ellipse a et c au cours de la propagation,

5) L'évolution de la forme de la fissure pendant la simulation de fissuration, par exemple, cette dernière reste homothétique ou non,

Alors cette étude, nous a permis de comparer nos résultats et d'en discuter à partir de :

1- L'examen du profil obtenu au cours de simulation de fissuration.

2- L'évolution d'intensité de contraintes tout le long du front de fissuration et en Particulier au point le plus profond et en surface.

On peut retenir de cette étude que :

1) Le comportement d'une fissure initialement semi-elliptique contenu dans un tube sous pression est complètement différent à celui dans les autres structures, par exemple dans le cas d'une plaque (la fissure conserve la forme initiale semi elliptique pendant la propagation).

2) La fissure ne reste pas toujours sous sa forme initiale semi – elliptique sous charge de pression interne, donc le rapport **a/c** ne reste pas inférieur à **1**.

3) Si on admet par hypothèse que la propagation de la fissure est sensible au gradient d contraintes, il faut donc accepter que les coefficients de fissuration en tout point du front de fissuration soient différents et que chaque cas est une particularité.
4) La valeur d'intensité de contraintes est augmenté en front de fissure quand le point le plus profond est approche au surface latérale du cylindre.
5) Le dimensionnement d'un défaut initiale semi elliptique (a/c=1) donc forme circulaire, ça donne certain résistante au champ de contrainte ou au charge appliqué par a port les autres structures semi elliptique.
6) Ces résultats apporte une contribution au problème de la propagation des fissures semi-elliptique dans les récipient sous pression interne qui selon nous est encore actuellement un problème ouvert.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[1] Saïd Hariri, Mansour Afzali & Haïdar Jaffal « NOCIVITE DES DEFAUTS ET PROPAGATION DE FISSURES DANS LES EQUIPEMENTS SOUS PRESSION ». Ecole des Mines de Douai 2007.

[2] Taoufik Boukharouba « ETUDE DU COMPORTEMENT EN FATIGUE DES FISSURES SEMI-ELLIPTIQUES, APPLICATION AUX PLAQUES EN FLEXION ET AUX TUBES SOUS PRESSION INTERNE ».Thèse Doctorat , Université de Metz 04 juillet 1995.

[3] G.Pluvinage, V.T.Sapunov Livre « FUITE ET RUPTURE DES TUBES ENDOMMAGÈS». GÈPADUES-ÈDITIONS. 111, Rue Vauquelin.

[4] A.GHOUL. « Mécanique de la rupture ».centre de recherche nucléaire.2005.

[5] ASME boiler and pressure vessel code.1998.

[6] https://campus.mines-douai.fr.

[7] A.GHOUL. « Mécanique de la rupture ».centre de recherche nucléaire.2005.

[8] A. BENHAMOUDA « ETUDE DU COMPORTEMENT DES FISSURES DANS LES TUBES SOUS PRESSION INTERNE » .thèse magister. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.2010.

[9] H.F.Bueckner « METHODS OF ANALYSIS AND SOLUTIONS OF CRACK PROBLEMS ». C.SHI ; ED. Noordhoff International Publishing.. Leyden, the Netherrlands , 1973.

[9] A. BENHAMOUDA « ETUDE DU COMPORTEMENT DES FISSURES DANS LES TUBES SOUS PRESSION INTERNE » .thèse magister. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.2010.

[10] H.F.Bueckner « METHODS OF ANALYSIS AND SOLUTIONS OF CRACK PROBLEMS ». C.SHI ; ED. Noordhoff International Publishing.. Leyden, the Netherrlands , 1973.

[11] Seyed Mohammad SEYEDI « FORMATION, PROPAGATION ET COALESCENCE DANS UN RESEAU DE FISSURES EN FATIGUE THERMIQUE». Thèse Doctorat, 16 février 2004.

[12] https://campus.mines-douai.fr.

[13] .C.Newman & I.S Raju « STRESS-INTENSITY FACTORS FOR INTERNAL SURFACE CRACKS IN CYLINDRICAL PRESSURE VESSELS », Vol.10, Nov 1982.

[14]] https://securité dans les centrale nucléaire.fr

[15] https://centrale nucléaire à eau sous pression.com

[16] "Propriétés de Forgé Aluminium et alliages d'aluminium: 6061 Alclad 6061", Propriétés et sélection: non ferreux alliages et des matériaux à usage spécial , vol 2, ASM Manuel, ASM International, 1990, p. 102-103.

[17] http://www.csc.dz/ic-wndt-mi12/index.php.

[18] mémoire COMPORTEMENT DES FISSURES DE FATIGUE DANS UN CHAMP DE CONTRAINTES RÉSIDUELLES DE TENSION.

[19] A. BENHAMOUDA « ETUDE DU COMPORTEMENT DES FISSURES DANS LES TUBES SOUS PRESSION INTERNE » .thèse magister. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.2010.