

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



Université de Saad Dahleb Blida1

Département génie mécanique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master.

Thème

L'INFLUENCE DES DIFFERENTES GEOMETRIES D'ENTAILLE DE
BORD AVEC FISSURE SUR LA TENACITE DU MATERIAU

Réalisé par :

- (1) AYAD Mohamed Lamine
- (2) AISSANI Salim

Option :

- (1) Fabrication mécanique et productique
- (2) Construction mécanique

Encadré par :

Dr. DAOUD Lotfi

Co-promoteur :

Dr. OUALI Mohammed

Année universitaire : 2023/2024

Résume

Une fissure est une fente dans une surface solide. Elle représente une rupture ou un défaut dans la structure du matériau, qui peut être causée par différents facteurs comme La fatigue du matériau, Des chocs ou des impacts, Des variations de température, Des défauts de fabrication, L'usure naturelle

La taille et la forme des fissures peuvent varier considérablement, allant de petites lignes superficielles à des fissures profondes et larges. Il est important de noter que les fissures peuvent être dangereuses, car elles peuvent affaiblir la structure et augmenter le risque d'effondrement.

Ce travail est consacré à la simulation de la propagation de fissure dans une plaque rectangulaire en aluminium, soumise a une charge de traction d'un cote et encastre de l'autre cote, avec des différents encoches (en « V », en « U », simple « S », circulaire « C ») de bord avec fissure, en suite on a calculé le facteur d'intensité de contrainte (KI) par 2 logiciels

Cast3M (Castem) est un logiciel de simulation numérique utilisé en mécanique des structures, et développé par le Département de Modélisation des Systèmes et Structures (DM2S), autrefois Département Mécanique et Technologie (DMT), du Commissariat français à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) Et le code d'analyse de la rupture Franc2D (en anglais fracture analysis code 2 dimensions), développé par Cornell Fracture Group, de l'université Cornell, des états unis de l'Amérique (USA), de cette plaque , puis on a calculer le facteur d'intensité de contrainte critique (KIC) en trouvant les points d'inflexion des courbes de tendance $KI(a)$, et aussi on a calculer les fissures critique (a_c) pour chaque encoche

Les résultats trouve sont acceptable

Mots clés : fissure, facteur d'intensité de contrainte, rupture, entaille, encoche, KI, KIC

Abstract

A crack is a crack in a solid surface. It represents a break or a defect in the structure of the material, which can be caused by various factors such as material fatigue, shocks or impacts, temperature variations, manufacturing defects, Natural wear and tear

The size and shape of the cracks can vary greatly, ranging from small superficial lines to deep and wide cracks. It is important to note that cracks can be dangerous, as they can weaken the structure and increase the risk of collapse.

This work is devoted to the simulation of crack propagation in a rectangular aluminum plate, subjected to a tensile load on one side and embedded on the other side, with different notches ("V", "U", simple "S", circular "C") edge with crack, subsequently the stress intensity factor (KI) was calculated by 2 software

Cast3M (Castem) is a numerical simulation software used in structural mechanics, and developed by the Department of Modeling of Systems and Structures (DM2S), formerly the Department of Mechanics and Technology (DMT), of the French Atomic Energy and Alternative Energies Commission (CEA) And the fracture analysis code Franc2D (in English fracture analysis code 2 dimensions), developed by Cornell Fracture Group, Cornell University, of the United States of America (USA), of this plate , then we calculated the critical stress intensity factor (KIC) by finding the inflection points of the trend curves KI(a), and also we calculated the critical cracks (ac) for each notch

The results found are acceptable

Key words: crack, stress intensity factor, fracture, notch, crack, KI, KIC

ملخص

الكراك هو صدع في سطح صلب. إنه يمثل كسرا أو عيبا في بنية المادة، والذي يمكن أن يكون ناتجا عن عوامل مختلفة مثل إجهاد المواد أو الصدمات أو التأثيرات أو تغيرات درجة الحرارة أو عيوب التصنيع أو البلى الطبيعي يمكن أن يختلف حجم وشكل الشقوق اختلافا كبيرا، بدءا من الخطوط السطحية الصغيرة إلى الشقوق العميقة والواسعة. من المهم ملاحظة أن التشققات يمكن أن تكون خطيرة، لأنها يمكن أن تضعف الهيكل وتزيد من خطر الانهيار.

ويخصص هذا العمل لمحاكاة انتشار الكراك في لوحة الألومنيوم مستطيلة، تعرض لحمل الشد على جانب واحد وجزءا لا يتجزأ من الجانب الآخر، مع الشقوق المختلفة ("في"، "يو"، "بسيطة" ق"، "دائرية" ج") حافة مع الكراك، في وقت لاحق تم حساب عامل شدة الإجهاد (كي) من قبل 2 البرمجيات

كاستم 3م (كاستم) هو برنامج محاكاة عددي يستخدم في الميكانيكا الإنشائية ، وقد طوره قسم نمذجة النظم والهيكل (دي إم 2س) ، الذي كان يعرف سابقا باسم قسم الميكانيكا والتكنولوجيا ، التابع للجنة الفرنسية للطاقة الذرية والطاقات البديلة ، ورمز تحليل الكسور فرنك 2د (باللغة الإنجليزية رمز تحليل الكسور 2 الأبعاد) ، الذي طورته مجموعة كورنيل للكسر ، جامعة كورنيل ، في الولايات المتحدة الأمريكية ، من هذه اللوحة ، ثم قمنا بحساب عامل شدة الإجهاد الحرج (كيك) من خلال إيجاد نقاط انعطاف منحنيات الاتجاه كي (أ) ، وأيضا قمنا بحساب الشقوق الحرجة (أس) لكل درجة النتائج التي تم العثور عليها مقبولة

الكلمات المفتاحية: الكراك، عامل شدة الإجهاد، الكسر، الشق KI, KIC,

DEDICACE

Je dédie le présent mémoire :

A mon père

A ma mère pour leur affection et leur amour.

A mes frères et mes sœurs pour leurs encouragements.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous ceux et celles que j'aime de près comme de loin.

A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Ayad Mohamed lamine

Aissani Salim

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu, Dieu tout puissant de nous avoir aidés. Ce travail n'aurait pas abouti sans sa miséricorde et sa bénédiction, et nous l'implorons afin que notre modeste travail soit couronné de succès. Nous remercions chaleureusement notre promoteur Dr Daoud Lotfi et notre Co promoteur Dr Ouali Mohammed pour ses conseils et ses orientations et aussi pour sa disponibilité constante et soutenue et surtout de patience inébranlable qu'il a bien témoigné durant toute la période de la réalisation de ce travail. Nous remercions vivement les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'avoir acceptés d'examiner notre travail. Nos sincères reconnaissances à nos enseignements du département de génie mécanique. Enfin nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Ayad Mohamed lamine

Aissani Salim

TABLE DES MATIERES

Résumé	I
Abstract	II
ملخص	III
DEDICACE	IV
REMERCIEMENTS	V
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES SYMBOLES	XII
Introduction générale	1
1. Chapitre 1 : Notions de base sur la mécanique de la rupture	3
1.1. Introduction	3
1.2. Aperçu historique sur la rupture	3
1.3. Mécanique linéaire et non-linéaire de la rupture	3
1.4. Comparaison des facies de rupture	4
1.5. Modes de rupture	4
1.6. Rappel sur élasticité	5
1.7. Élasticité plane	6
1.8. Élasticité anti plane	6
1.9. Singularité des contraintes en mode I et mode II :	8
1.10. Singularité de contrainte en mode III :	9
1.11. Des informations sur Entaille	9
1.12. Paramètres géométriques définissent une entaille	10
1.13. Distribution de contrainte en fond de l'entaille	10
1.14. Critère de Griffith	11
1.15. Facteur d'intensité de contrainte	12
1.16. Lois d'interface des modèles de force cohésive	13
1.17. Intégrale de Rice	14
Conclusion	15
Chapitre 2 : Concentration de contraintes	17

2.1.	Introduction	17
2.2.	Historique	17
2.3.	Définition	17
2.4.	Facteurs de concentration de contraintes en phase de déformations plastiques.....	20
2.5.	Définition Courbe de Wöhler	21
2.6.	Cycle de contrainte en fatigue	22
2.7.	Calcul des contraintes	22
2.7.1.	Méthode analytique	22
2.7.2.	Méthode des éléments finis	23
2.7.3.	Méthode expérimentale	24
2.8.	Facteur de concentration de contrainte (K t):.....	26
2.8.1.	Contrainte maximale ou réelle	26
2.8.2.	Contrainte nominale	26
	Conclusion	26
Chapitre 3 : Les logiciels de simulation utilisé.....		29
3.1.	Les logiciels.....	29
3.1.1.	Introduction	29
3.1.2.	Définition de logiciels	29
3.1.3.	Exemples de logiciels utilisés dans les mémoires de fin d'étude.....	29
3.1.4.	Remarque.....	30
3.2.	CASCA	30
3.2.1.	Les fichiers	30
3.3.	Franc2d	32
3.3.1.	Introduction	32
3.3.2.	Structure des Données.....	33
3.3.3.	Éléments Finis	34
3.3.4.	Couches	35
3.3.5.	Fracture.....	36
3.3.6.	Remaillage pendant la croissance des fissures	36
3.3.7.	Procédure solution	37
3.3.8.	Infographie	37
3.3.9.	Fichiers franc2d	37
3.3.10.	FRANC2D Redémarre les fichiers	38
3.3.11.	Fichiers de sortie FRANC2D	38
3.3.12.	Interface de franc2d	40
3.4.	CAST3M.....	40
3.4.1.	Introduction	40
3.4.2.	Historique	41
3.4.3.	Organisation d'un calcul	41
3.4.4.	Principes de développement	43
3.4.5.	Mise en œuvre.....	44
3.4.6.	Interface de cast3m	46
	Conclusion	46

Chapitre 4 Simulation de la propagation de fissure dans les différentes géométries d'encoche	48
4.1. Introduction	48
4.2. Modèle géométrique et mécanique de la simulation	48
4.3. CASCA	52
4.3.1. Préparation et réglage du logiciel CASCA.....	52
4.3.2. Dessin de la pièce avec la fissure (V) par le logiciel CASCA	55
4.3.3. Le maillage de la pièce avec fissure (V) par le logiciel CASCA	58
4.4. Franc2d	59
4.4.1. Ouverture de fichier (V1. Inp).....	59
4.5. Simulation avec CAST3M	67
4.5.1. Modélisation avec CAST3M.....	67
4.5.2. Propagation de la fissure	75
Conclusion	76
Chapitre 5 Principaux résultats de la simulation avec étude de l'influence des différentes géométries d'encoche de bord sur la ténacité	78
5.1. Introduction	78
5.2. Résultats de logiciel FRANC2D	78
5.3. Résultats de logiciel CAST3M.....	82
5.4. Facteur d'intensité de contrainte théorique	86
5.5. Comparaison des résultats.....	86
Conclusion :	87
CONCLUSION GENERALE :	89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	91
Annexe A Simulation avec les logiciels CASCA/ FRANC2D	94
Annexe B Simulation avec le logiciel CAST3M.....	128

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : la forme des diagrammes de charge par déplacement et type de rupture.....	4
Figure 1-2 : Les modes de rupture	5
Figure 1-3 : fissure droite en situation plan.....	8
Figure 1-4 : types d'entaille.....	9
Figure 1-5 : Zone plastique aux abords du front de fissure dans un matériau ductile	10
Figure 1-6 : Fissure débouchant dans une éprouvette chargée en mode I.....	12
Figure 1-7 : Discontinuité du déplacement pour une fissure en bidimensionnel.	13
Figure 1-8 : Schéma de la fissure et de la zone cohésive	14
Figure 1-9 : Définition d'un contour de l'intégrale autour du front de fissure.....	15
Figure 2-1 : Illustration schématique qualitative montrant l'origine de la concentration de contraintes.....	18
Figure 2-2 : Champs de contraintes dans différents cas de pièces lisses ou entaillées [6].....	19
Figure 2-3 : Plaque percée en flexion : influence de la morphologie sur la localisation de contrainte maximale [6].....	20
Figure 2-4 : Courbe de traction simple.....	20
Figure 2-5 : Concentration de contraintes en élasticité	20
Figure 2-6 : concentration de contraintes en élastoplasticité.....	21
Figure 2-7 : Concentration de contrainte en cas de section entièrement plastique	21
Figure 2-8 : Courbe de Wöhler	22
Figure 2-9 : nomenclature utilisée pour décrire un chargement cyclique d'amplitude constant	25
Figure 3-1 : interface de casca	31
Figure 3-2 : les fichiers finals de casca	32
Figure 3-3 : organisation conceptuelle de franc2d.....	34
Figure 3-4 : interface de franc2d.....	40
Figure 3-5 : interface de cast3m	46
Figure 4-1 : Plaque rectangulaire en aluminium avec fissure	48
Figure 4-2 : Courbes contrainte-déformation de l'aluminium et de l'acier [20]	49
Figure 4-3 : Dimensions de l'entaille en V	50
Figure 4-4 : Dimensions de l'entaille en C.....	51
Figure 4-5 : Dimensions de l'entaille en U	51
Figure 4-6 : Dimensions de l'entaille en S	51
Figure 4-7 : interface de CASCA.....	52
Figure 4-8 : réglage d'affichage.....	53
Figure 4-9 : définir l'échelle	54
Figure 4-10 : insertion des coordonnées	55
Figure 4-11 : dessiner la pièce	55
Figure 4-12 : définir les sous-régions.....	56
Figure 4-13 : application de la densité	57
Figure 4-14 : applique le maillage sur la pièce	58
Figure 4-15 : le fichier de casca pour ouvrir dans franc2d.....	59
Figure 4-16 : la pièce dans franc2d.....	60
Figure 4-17 : fixation de la pièce selon x et y	60
Figure 4-18 : insertion de propriété du matière	61
Figure 4-19 : application de la force (charge N).....	61
Figure 4-20 : la pièce après l'application de force.....	62
Figure 4-21 : la pièce après la nouvelle fissure	63

Figure 4-22 : ajoute le contour.....	63
Figure 4-23 : SIG XY.....	64
Figure 4-24 : SIG X	65
Figure 4-25 : SIG Y	65
Figure 4-26 : Sif history	66
Figure 4-27: Contour de l'éprouvette	69
Figure 4-28 : Maillage de la surface S1	70
Figure 4-29 : Reactions aux appuis et force appliquée	72
Figure 4-30 : Déformation de la surface	73
Figure 4-31 : Concentrations des contraintes	74
Figure 4-32 : Propagation de la fissure	75
Figure 5-1 : Courbe de K_I obtenues par FRANC2D en fonction de a pour l'entaille en V	80
Figure 5-2 : Options de courbe de tendance	81
Figure 5-3 : Courbe de K_I calculé par CAST3M en fonction de a pour l'entaille en V	83
Figure A-1 : dessin de la pièce	94
Figure A-2 : dessin de la pièce	95
Figure A-3 : dessin de la pièce	96
Figure A-4 : sous region de la piece	97
Figure A-5 : sous-région de la pièce	99
Figure A-6 : application de la densité	100
Figure A-7 : application de la densité	101
Figure A-8 : application de la densité	102
Figure A-9 : maillage de la piece	103
Figure A-10 : maillage de la piece	104
Figure A-11 : maillage de la piece	105
Figure A-12 : déformation de la pièce	106
Figure A-13 : SIF history	107
Figure A-14 : SIG Y.....	107
Figure A-15 : SIG XY.....	108
Figure A-16 : la pièce après la propagation.....	109
Figure A-17 : la pièce après la propagation.....	110
Figure A-18 : la pièce après la propagation.....	111
Figure A-19 : la pièce après la propagation.....	112
Figure A-20 : SIG X.....	113
Figure A-21 : SIG Y.....	114
Figure A-22 : SIG XY.....	115
Figure A-23 : SIF history	116
Figure A-24 : déformation de la pièce	116
Figure A-25 : déformation de la pièce	117
Figure A-26 : SIF history	118
Figure A-27 : SIG XY.....	119
Figure A-28 : SIG Y.....	120
Figure A-29 : SIG X.....	121
Figure A-30 : la pièce après la propagation.....	122
Figure A-31 : la pièce après la propagation.....	123
Figure A-32 : : Courbe de K_I en fonction de a pour l'entaille en V.....	124
Figure A-33 : : Courbe de K_I en fonction de a pour l'entaille en V.....	125
Figure A-34 : Courbe de K_I en fonction de a pour l'entaille en V.....	126

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4-1 : Dimensions de modèle géométrique.....	49
Tableau 4-2 : Propriétés mécanique de matériau [20]	49
Tableau 4-3 : simulation de différents types d'entaille à l'aide de logiciel SolidWorks	50
Tableau 5-1 : les 4 différentes géométries d'entailles	78
Tableau 5-2 : Valeurs de K_I obtenues par FRANC2D pour différentes longueurs de fissure	79
Tableau 5-3 : Fonctions polynomiales des courbes des différentes géométries d'entaille et leurs dérivées secondes (FRANC2D)	82
Tableau 5-4 : Valeurs trouvées par FRANC2D des longueurs critiques et des facteurs d'intensité des contraintes critiques	82
Tableau 5-5 : Valeurs de K_I obtenues par CAST3M pour différentes longueurs de fissure ...	83
Tableau 5-6 : Fonctions polynomiales des courbes des différentes géométries d'entaille et leurs dérivées secondes (CAST3M).....	85
Tableau 5-7 : Valeurs trouvées par CAST3M des longueurs critiques et des facteurs d'intensité des contraintes critiques	85
Tableau 5-8 : Comparaison entre les résultats de a_c et K_{IC} pour les 2 logiciels	86
Tableau 5-9 : Comparaison entre les résultats de K_{IC} et K_{th}	86
Tableau A-1 : Valeurs de K_I pour différentes longueurs de fissure	124
Tableau A-2 : Valeurs de K_I pour différentes longueurs de fissure	125
Tableau A-3 : Tableau 14 : Valeurs de K_I pour différentes longueurs de fissure	126

LISTE DES SYMBOLES

G : Taux de restitution (Pa)

G_C : Taux de restitution critique (Pa)

K_I : facteur d'intensité de contraintes en mode I. (MPa.m^{1/2})

K_{II} : facteur d'intensité de contraintes en mode II. (MPa.m^{1/2})

K_{III} : facteur d'intensité de contraintes en mode III. (MPa.m^{1/2})

K_t : facteur de concentration de contraintes.

K_{ic} : ténacité d'un matériau en déformation plane (MPa.m^{1/2})

K_{th} : valeur théorique de facteur d'intensité de contraintes en mode I. (MPa.m^{1/2})

σ_{nom} = Contrainte nominale (Pa ou N/m²)

E : module de Young du matériau, (Gpa)

ν : coefficient de Poisson du matériau. (Sans unité)

J : intégrale de Rice

t : contrainte de cisaillement (Pa ou N/m²)

a : longueur de fissure (mm)

a_{cr} : longueur critique (mm)

W : densité d'énergie de déformation

W_{Fext} : travail des forces extérieurs (Joule (J))

X_1 : Direction parallèle a la fissure

X_2 : Direction normal a la fissure

X_3 : Direction perpendiculaire a la fissure

x_i : Coordonnées cartésiennes

A blue trapezoidal shape with a black outline, centered on the page. The text "INTRODUCTION GÉNÉRALE" is written in white, bold, uppercase letters across the middle of the shape.

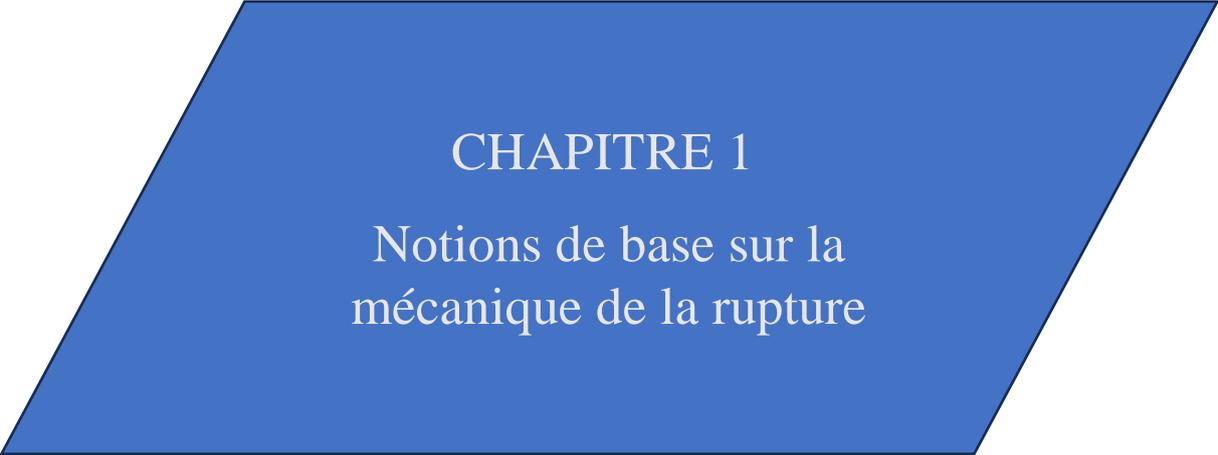
INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La ténacité ou facteur d'intensité de contrainte cinétique K_{IC} , c'est une propriété très importante du matériaux, dans ce contexte on a fait notre mémoire de master intitulée : {l'influence des différentes géométries d'encoches de bord avec fissure sur la ténacité du matériau } donc on a étudié l'influence de 4 types d'encoches (ou entaille) (en « V » et en « U » et en « S » et en « C ») et en va travail dans une pièce simple en aluminium en changeant la géométrie fissure et on travaille sur 2 logiciels FRANC2D et CAST3M et faire une comparaison des résultats, et pour cette étude on a partagé ce mémoire en 5 chapitres comme suit :

- Le premier chapitre est dédiés à notion de base sur la mécanique de rupture
- Le 2 -ème chapitre est consacré à concentration de contrainte
- Le 3 -ème chapitre il parle de notions sur les logiciels de simulation franc2d et cast3m
- Le 4 -ème chapitre consiste à simulation des différentes géométries d'encoche avec fissure sur la ténacité des matériaux
- Le 5 -ème chapitre on donne principaux résultats de la simulation avec une étude de l'influence des différentes géométries d'encoche de bord sur la ténacité

Enfinement on terminera par une conclusion de tous les résultats importants de notre travail puis la liste bibliographique et annexes.

A blue trapezoidal shape with a black border, centered on the page. It contains the chapter title and subtitle.

CHAPITRE 1

Notions de base sur la
mécanique de la rupture

1. Chapitre 1 : Notions de base sur la mécanique de la rupture

1.1.Introduction

La mécanique des fractures est une branche de la science des matériaux qui se concentre sur l'étude du comportement des substances contenant des fractures ou des imperfections en présence de contraintes. Il s'agit principalement de prédire l'apparition de fissures et la propagation des fissures dans les matériaux, ce qui revêt une grande importance dans l'évaluation de la sécurité et de la durabilité des structures.

1.2.Aperçu historique sur la rupture

Léonard de Vinci a effectué les premiers essais de rupture, montrant que la résistance à la traction des fils de fer varie inversement avec leur longueur. Ces résultats indiquent que des défauts dans le matériau contrôlent sa résistance ; plus la taille est grande, plus la probabilité d'une fissure est grande

Cette explication qualitative a ensuite été clarifiée en 1920 par Griffith qui a établi une relation directe entre la taille du défaut et la pression de fracture. S'appuyant sur les travaux d'Inglis, Griffith a appliqué l'analyse des contraintes autour d'un trou elliptique à la propagation instable d'une fissure ; il a ainsi formulé, à partir du premier principe de la thermodynamique, la théorie de la rupture. Selon cette théorie, le défaut devient instable et conduit à la rupture lorsque la variation d'énergie associée à la propagation du défaut atteint l'énergie spécifique du matériau. Cette théorie prédit correctement la relation entre la contrainte de rupture et la taille des défauts dans les matériaux fragiles. Ce n'est qu'après les travaux d'Irwin en 1948 qu'il proposa une modification de la théorie de Griffith en y incluant précisément le bilan énergétique, l'énergie générée par les plastiques, afin que l'approche de Griffith soit applicable aux matériaux ductiles. Les mécanismes de rupture sont passés du stade de la curiosité scientifique au stade d'une discipline scientifique largement utilisée en génie de la construction donc Le risque de rupture a été réduit en augmentant la taille des structures. Mais cette solution est Devenir insatisfaisant en raison des besoins d'une part de desserrer de plus en plus les structures, et D'autre part pour réduire les coûts. La recherche aurait donc dû porter sur la mécanique de la rupture.[1]

1.3.Mécanique linéaire et non-linéaire de la rupture

-Rupture fragile : la rupture fragile est définie par l'absence de déformation.

Plasticité et croissance rapide des fissures (mécanique linéaire).

-Rupture ductile : lorsqu'il y a une grande quantité de déformation plastique (mécanique Formes de défaillance non linéaires).

Nous pouvons catégoriser les fractures fragiles et ductiles :

- *En contrastant les tensions au moment de l'échec.
- *En contrastant la quantité d'énergie nécessaire pour se rompre.
- *En contrastant le type de fracture.

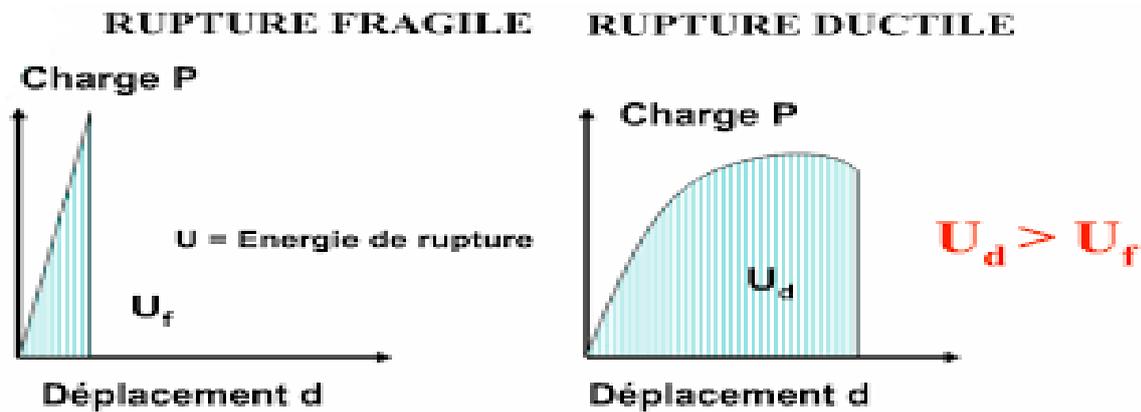


Figure 1-1 : la forme des diagrammes de charge par déplacement et type de rupture.

1.4. Comparaison des facies de rupture

- Une fracture fragile se caractérise par un aspect lisse et granuleux.
- Une fracture ductile se caractérise par un aspect terne et une composition fibreuse.

1.5. Modes de rupture

La fissuration se manifeste par la division irréversible d'un milieu continu en deux parties distinctes.

On les appelle lèvres de fissure, qui permettent une rupture dans la direction du mouvement
À la fin des années 1950, le métallurgiste Irwin proposait que tout défaut considéré était le résultat d'une combinaison de trois modes de défaillance principaux.

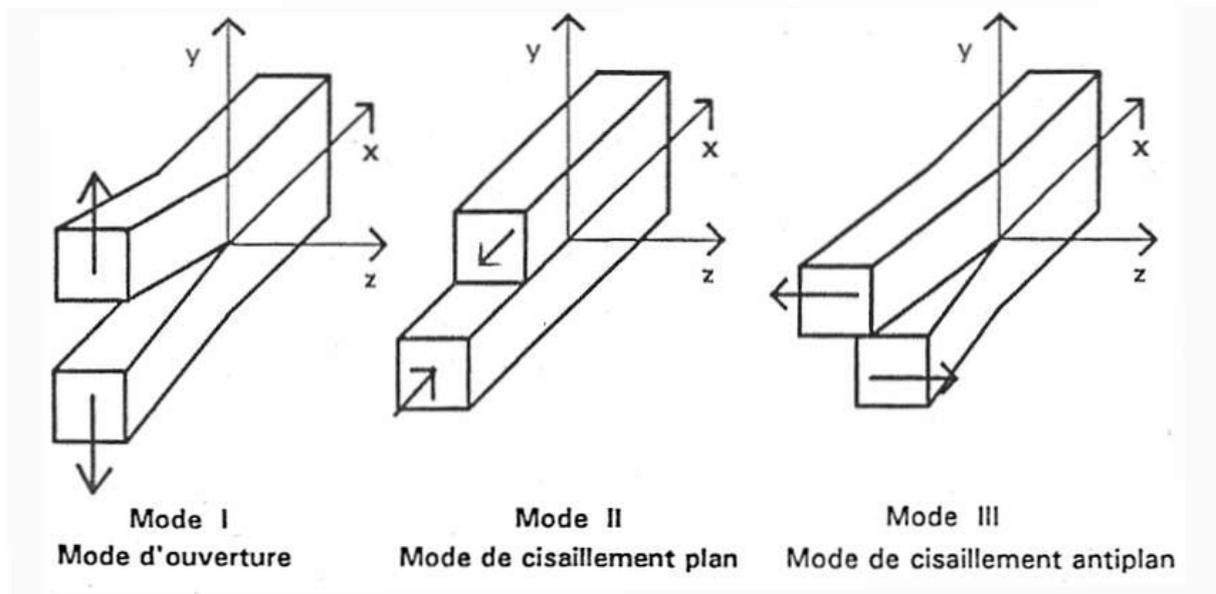


Figure 1-2 : Les modes de rupture

-Mode I : ouverture (ou clivage), les surfaces de la fissure se déplacent Perpendiculairement au plan de fissure.

-Mode II : cisaillement plan, (glissement de translation) : les surfaces de la fissure se Déplacent dans le plan de fissure et dans une direction perpendiculaire au front de fissure.

-Mode III : cisaillement anti-plan, (glissement de rotation) : les surfaces de la fissure se déplacent dans le plan de fissure et dans une direction parallèle au front de la fissure.

1.6.Rappel sur élasticité

Un module d'élasticité est une grandeur intrinsèque d'un matériau, définie par le rapport d'une contrainte à la déformation élastique provoquée par cette contrainte. Donc il mesure la résistance d'un objet à la déformation élastique

Les types de modules d'élasticité

*module de YOUNG (E)

*module de cisaillement (G)

*module d'élasticité isostatique (K)

*module d'onde de compression (L ou M)

Et l'élasticité se divise en deux

- Elasticité plane

- Élasticité anti-plane

1.7.Élasticité plane

Si on utilise un plan (X_1, X_2) si le déplacement u est indépendant de X_3 , et on considère la composante $u_3=0$. Donc ε est indépendant de X_3 et que $\varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0$.

Les équations d'équilibre :

$$\sigma_{11,1} + \sigma_{12,2} = 0 \quad (1.1)$$

$$\sigma_{21,1} + \sigma_{22,2} = 0 \quad (1.2)$$

En l'absence de force de masse, il y a une fonction $\Phi(x_1, x_2)$ connue sous le nom de fonction d'Airy, comme :

$$\sigma_{11} = \Phi_{,22} \quad (1.3)$$

$$\sigma_{22} = \Phi_{,11} \quad (1.4)$$

$$\sigma_{12} = -\Phi_{,12} \quad (1.5)$$

1.8.Élasticité anti plane

Nous considérons une situation avec anti-plan anti déformation si u_1, u_2 sont tous deux nuls, et si u_3 dépend uniquement des deux premières variables. Toutes les composantes du tenseur de déformation qui sont différentes de zéro, à l'exception de $\varepsilon_{13} = \frac{1}{2}u_{3,1}$ et $\varepsilon_{23} = \frac{1}{2}u_{3,2}$, sont alors mises à zéro. La loi d'élasticité (isotrope) stipule qu'il en est de même pour les composantes du tenseur de contraintes, avec l'expression de $\sigma_{13} = \mu u_{3,1}$ et $\sigma_{23} = \mu u_{3,2}$. [2]

Donc les équations d'équilibre se réduisent à :

$$\sigma_{31,1} + \sigma_{32,2} = 0 \quad \longrightarrow \quad \Delta u_3 = 0 \quad (1.6)$$

Ainsi u_3 doit être en fonction harmonique, donc on peut écrire :

$$\mu u_3 = \mathbf{Re} f(z) \quad (1.7)$$

Ou $f(z)$ est une fonction analytique de z tel que :

$$\begin{cases} z = x_1 + ix_2 \\ f' = \sigma_{31} + i\sigma_{32} \end{cases} \quad (1.8)$$

1.9.Singularité des contraintes en mode I et mode II :

La singularité est de type $1/\sqrt{r}$. On va la démontrer comme suit :

Considérons une fissure droite en situation de déformation plane. Cherchons la forme asymptotique des contraintes au voisinage de sa pointe. Pour cela, définissons classiquement un repère (O, X, Y) avec O confondu avec la pointe et OX se situe dans le prolongement de la fissure, et les coordonnées polaires (r,θ) correspondants.[2]

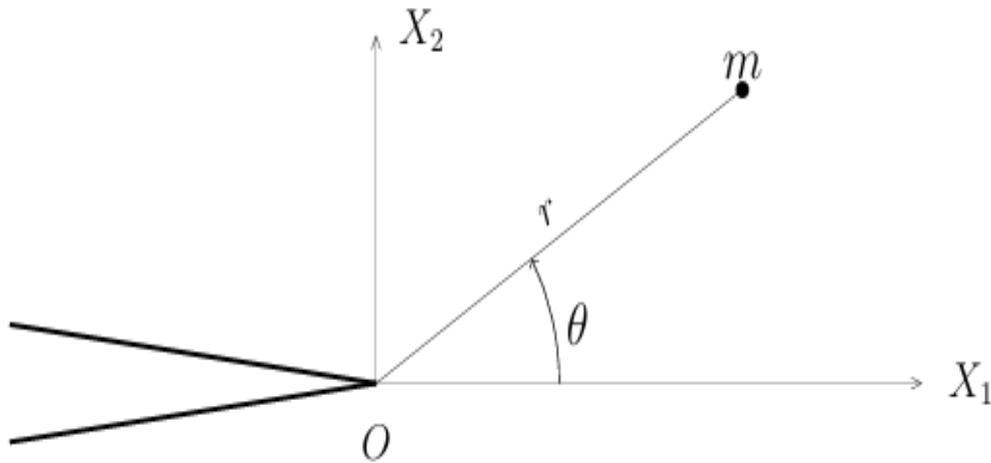


Figure 1-3 : fissure droite en situation plan

La démarche classique, due à Williams (1952), que nous allons suivre, consiste à étudier la fonction d'Airy du problème, qui vérifie les équations suivante:

$$\Delta\Delta\Phi = 0 \quad \text{Equation de Beltrami}$$

Conditions de bord libres sur la fissure

$$\begin{cases} \sigma_{\theta\theta}(r, \pm\pi) = \Phi_{,rr}(r, \pm\pi) = 0 \\ \sigma_{r\theta}(r, \pm\pi) = -\left(\frac{1}{r}\Phi_{,\theta}\right)_{,r}(r, \pm\pi) = 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

Cherchons Φ sous la forme:

$$\Phi(r, \theta) = r^{a+2}\psi(\theta) \quad (1.10)$$

On trouve les expressions asymptotiques des contraintes:

$$\sigma_{rr} = \frac{K_I}{4\sqrt{2\pi r}} \left(5\cos\frac{\theta}{2} - \cos\frac{3\theta}{2} \right) + \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left(-5\sin\frac{\theta}{2} + 3\sin\frac{3\theta}{2} \right) \quad (1.11)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{K_I}{4\sqrt{2\pi r}} \left(3\cos\frac{\theta}{2} + \cos\frac{3\theta}{2} \right) + \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left(-3\sin\frac{\theta}{2} - 3\sin\frac{3\theta}{2} \right) \quad (1.12)$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{K_I}{4\sqrt{2\pi r}} \left(\sin\frac{\theta}{2} + \sin\frac{3\theta}{2} \right) + \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left(\cos\frac{\theta}{2} + 3\cos\frac{3\theta}{2} \right) \quad (1.13)$$

1.10. Singularité de contrainte en mode III :

On prend en considération le cas de déformation anti plan. L'expression asymptotique des contraintes s'écrira ainsi :

$$\sigma_{13} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin\frac{\theta}{2} \quad (1.14)$$

$$\sigma_{32} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2} \quad (1.15)$$

K_{III} Est le facteur d'intensité (FIC) en mode III.[2]

Le déplacement qui lui correspond s'identifie comme :

$$u_3 = \frac{2K_{III}}{\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin\frac{\theta}{2} \quad (1.16)$$

1.11. Des informations sur Entaille

Il existe trois types d'entailles :

- Entaille caractérisée par un angle nul et un rayon fond d'entaille nul ($\rho=0, \psi=0$).
- Entaille infiniment aigue caractérisée par un angle différent de zéro et un rayon fond d'entaille nul ($\rho=0, \psi \neq 0$).
- Entaille simple caractérisée par un angle et un rayon fond d'entaille différent de zéro ($\rho \neq 0, \psi \neq 0$).

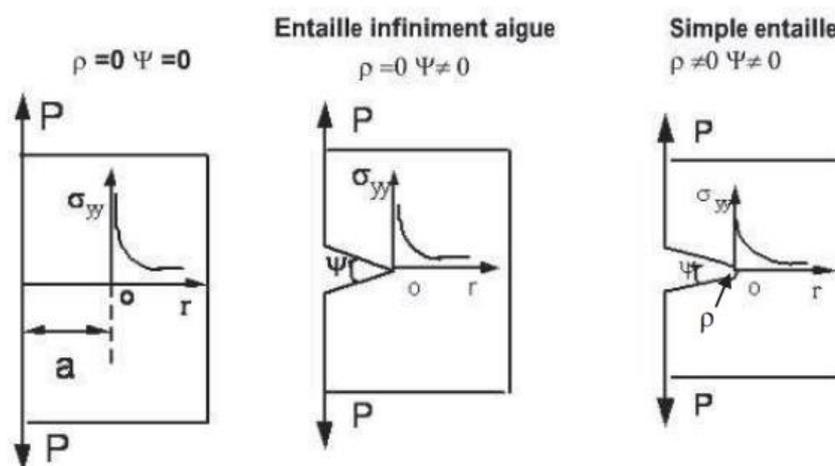


Figure 1-4 : types d'entaille

1.12. Paramètres géométriques définissent une entaille

Trois paramètres définissent une entaille

- Profondeur d'entaille a/w
- Rayon d'entaille ρ
- Angle d'entaille ψ

1.13. Distribution de contrainte en fond de l'entaille

Une distribution des contraintes dans un diagramme bi-logarithmique σ_{yy} le long de ligament nous donne une singularité en fond d'entaille représenté par le facteur d'intensité de contrainte

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} (\sigma_{yy} \sqrt{2\pi r}) \quad (1.17)$$

Le facteur d'intensité des contraintes (fic) k est le seul paramètre significatif qui permet de connaître l'état de contrainte et de déformation en toute pointe de fissure.

Irwin montre que le champ de contraintes au voisinage de la fissure est décrit par un paramètre appel (fracture d'intensité de contrainte) note k .la rupture survient lorsque k atteint une valeur critique k_c caractéristique du matériau et appelée (ténacité) le facteur d'intensité de contrainte s'exprime en mode 1 sous la forme

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (1.18)$$

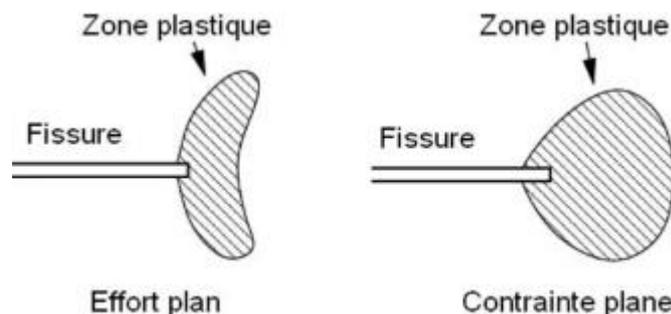


Figure 1-5 : Zone plastique aux abords du front de fissure dans un matériau ductile

1.14. Critère de Griffith

Pour un solide élastique possédant une fissure S, la propagation de celle-ci entraîne une modification de son aire. GRIFFITH exprime la conservation de l'énergie totale du système en écrivant :

$$dW_{ext} = dW_{elast} + dW_s + dW_{cin} = 0 \quad (1.19)$$

dW_{elast} : Variation de l'énergie élastique.

dW_{ext} : Variation du travail des forces extérieur.

dW_s : Energie dissipée dans la séparation $dW_s = 2\gamma ds$, γ étant l'énergie superficielle caractéristique du matériau, ds l'accroissement d'aire de la fissure, 2 étant du aux deux face de la fissure.

dW_{cin} : Variation d'énergie cinétique

La fissure se propagera de façon instable si $dW_{cin} > 0$, c'est-à-dire :

$$\frac{\partial}{\partial S} (W_{elast} - W_{ext}) + 2\gamma < 0 \quad (1.20)$$

Par définition, le taux de restitution d'énergie G est :

$$G = -\frac{\partial}{\partial S} (W_{elast} - W_{ext}) \quad (1.21)$$

Le critère de propagation de GRIFFITH se traduit par :

$$G > 2\gamma \quad (1.22)$$

L'initiation de la propagation A partir de la configuration S est possible lorsque :

$$G = 2\gamma \quad (1.23)$$

Dès que G est supérieur à 2γ , une partie de l'énergie disponible sert précisément à rompre les liaisons : c'est l'énergie de séparation. L'excès d'énergie ($G-2\gamma$) est transformé en énergie cinétique, qui pourrait à son tour, s'il n'y avait pas d'autre apport d'énergie extérieure, se dissiper dans la séparation de surface nouvelle. Ce processus peut mener à la propagation instable. Si les sollicitations extérieures sont telles que l'égalité $G=2\gamma$, soit vérifiée à tout moment, alors il n'y a pas d'accroissement d'énergie cinétique, La rupture est contrôlée et la croissance de la fissure est stable.[3]

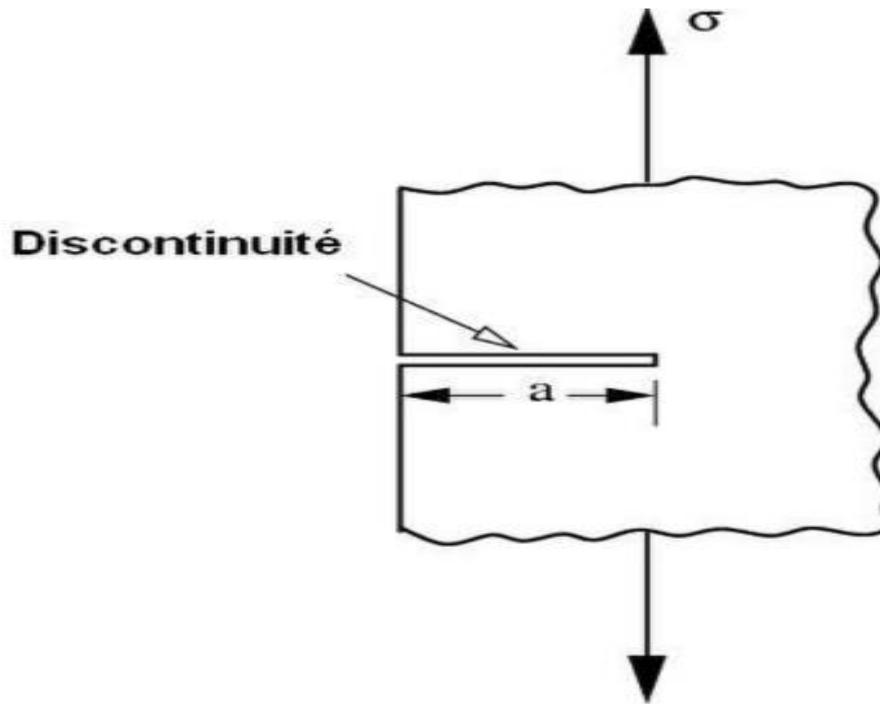


Figure 1-6 : Fissure débouchant dans une éprouvette chargée en mode I

1.15. Facteur d'intensité de contrainte

Le paramètre clé permettant de prédire le comportement d'une fissure sous l'effet d'un chargement est le facteur d'intensité de contrainte, désigné par la variable. Il représente une mesure de l'intensité du champ de contrainte en bout de fissure. Pour chaque mode, le facteur d'intensité de contrainte est défini quand r tend vers zéro le long de l'axe $\theta=0$ en fonction des composantes du tenseur des contraintes par :[4]

MODE 1 :

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\sqrt{2\pi r} \delta_{22}(r, \theta = 0) \right) = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{\mu}{k+1} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} [U_2] \right) \quad (1.24)$$

MODE 2 :

$$K_{II} = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\sqrt{2\pi r} \delta_{21}(r, \theta = 0) \right) = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{\mu}{k+1} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} [U_1] \right) \quad (1.25)$$

MODE 3 :

$$K_{III} = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\sqrt{2\pi r} \delta_{23}(r, \theta = 0) \right) = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{\mu}{k+1} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} [U_3] \right) \quad (1.26)$$

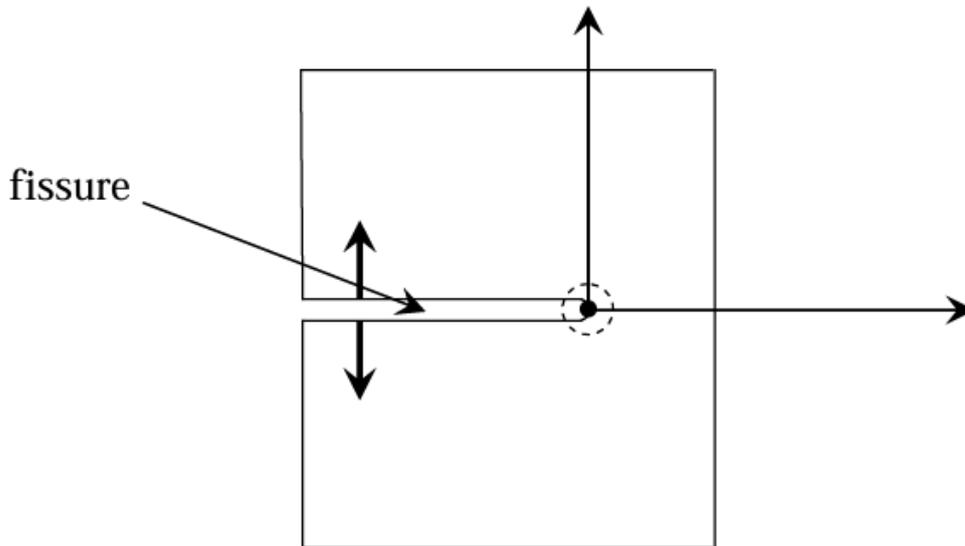


Figure 1-7 : Discontinuité du déplacement pour une fissure en bidimensionnel.

1.16. Lois d'interface des modèles de force cohésive

Nous appelons loi d'interface une relation entre le déplacement relatif et la force d'interaction entre les lèvres d'une fissure. Dans cette section, nous présenterons quelques-unes d'entre elles, basées sur la notion de force cohésive. Cette dernière s'appuie sur des observations expérimentales en pointe de fissure, telles que l'apparition de micro fissures, la croissance de cavité ou le développement de zones de plastification. Cela correspond à une zone de transition entre le milieu sain et une vraie fissure.[3]

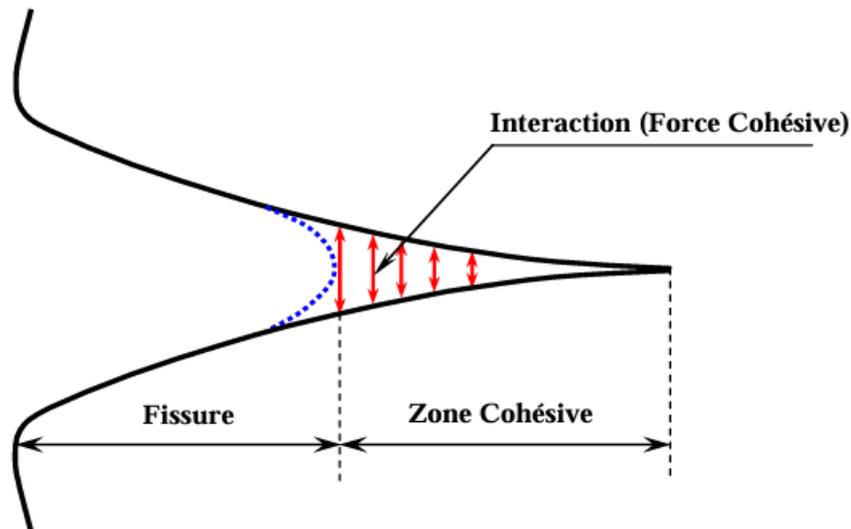


Figure 1-8 : Schéma de la fissure et de la zone cohésive

1.17. Intégrale de Rice

Pour un corps homogène élastique qui est soumis, en l'absence de forces de volume, à un champ de déformation bidimensionnel, RICE définit l'intégrale J par l'équation suivante :

$$J = \int_{\Gamma} \left(W dy - t \cdot \frac{\partial u}{\partial x} ds \right) \quad (1.27)$$

W Est la densité d'énergie de déformation élastique par unité de volume.

$$W = \int_0^{\epsilon} \delta_{ij} d\epsilon_{ij} \quad (1.28)$$

t Est le vecteur contraintes défini suivant la normale extérieure au contour,

$t_i = \delta_{ij} \eta_{ij}$, u est le vecteur déplacement et dS est un élément d'arc de Γ . [4]

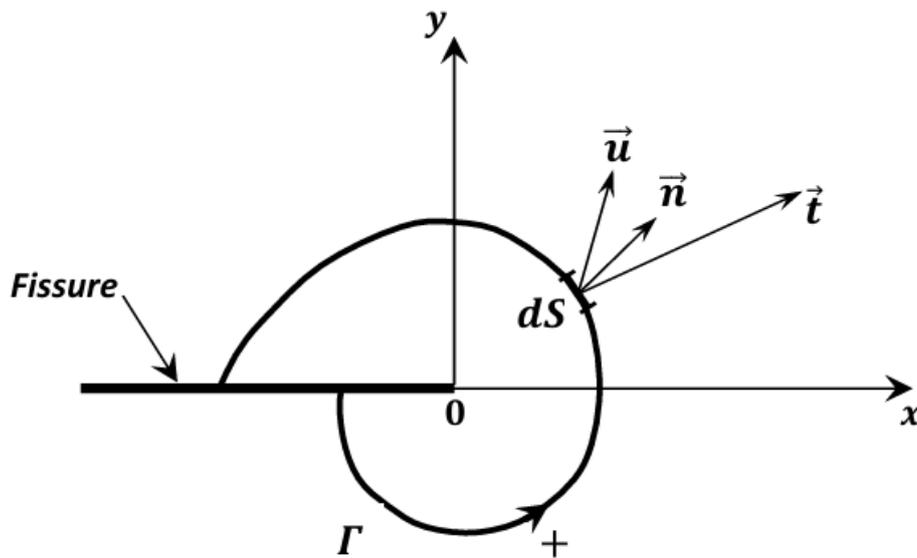


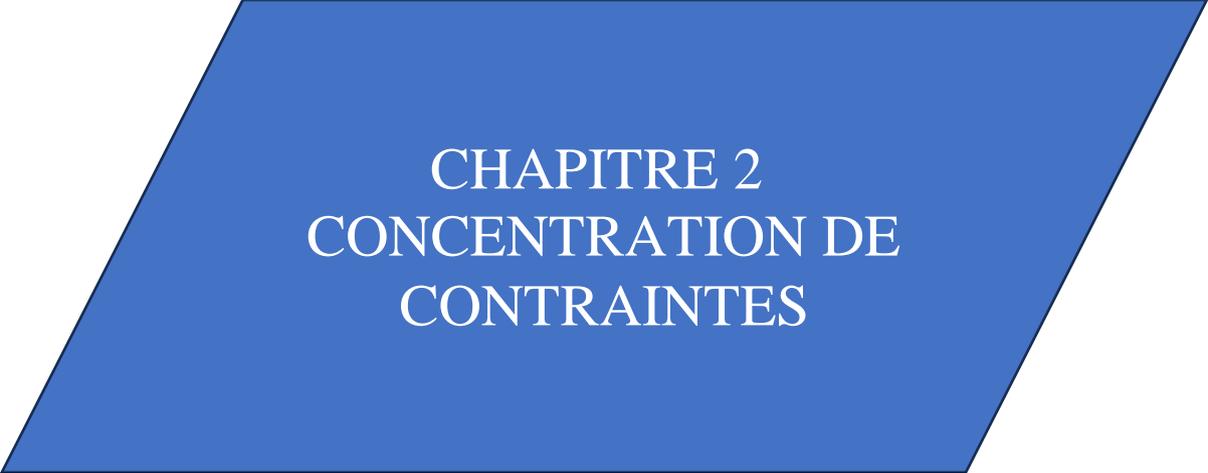
Figure 1-9 : Définition d'un contour de l'intégrale autour du front de fissure.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni les notions de base de la mécanique de la rupture. Nous avons commencé par un aperçu historique pour situer le contexte, puis nous avons examiné la mécanique linéaire et non linéaire de la rupture. Nous avons traité la comparaison des faciès de rupture et des modes de rupture, permettant de catégoriser les types de fractures.

Le chapitre inclut un rappel sur l'élasticité, couvrant l'élasticité plane et anti-plane, et étudie les singularités des contraintes en modes I, II et III. Les sections sur les entailles, incluant leurs paramètres géométriques et la distribution de contrainte, sont suivies de discussions sur le critère de Griffith et le facteur d'intensité de contrainte.

Enfin, le chapitre aborde les lois d'interface des modèles de force cohésive et l'intégrale de Rice. En somme, Cela permettra de comprendre le phénomène de l'effet de l'entaille sur le comportement mécanique de la plaque en traction.



CHAPITRE 2
CONCENTRATION DE
CONTRAINTES

Chapitre 2 : Concentration de contraintes

2.1.Introduction

La concentration du stress est un obstacle fréquent dans la conception de composants ou composants mécaniques. Ce phénomène provoque une augmentation.

Obstacles locaux dans les zones où la forme du composant est modifiée.

Cela se produit fréquemment lors d'une transition, comme par exemple une encoche qui provoque l'usinage. Ces zones de stress sont généralement situées aux points où les fissures de fatigue peuvent commencer et peuvent également conduire à une défaillance brutale dans les substances délicates.

2.2.Historique

Le phénomène de concentration a été documenté pour la première fois par G. Kirsh en 1898 comme solution au problème de la concentration des contraintes à proximité des trous. Puis, des solutions analytiques et des formules empiriques ont été progressivement développées par différents scientifiques pour des configurations de pièces de plus en plus complexes. Inglis discuta également de cette question en 1913, mais ce furent H. Neuber et R.E. Peterson qui a joué un rôle plus important dans la connaissance de ce domaine.[5]

2.3.Définition

Généralement, toutes les irrégularités de forme conduisent à ce phénomène. Clarifier le sujet de manière évidente.

Ce problème concerne une plaque comportant un trou soumis à une contrainte. En effet, sans la présence d'un homogénéiser les lignes de contrainte si je prends la densité des lignes comme mesure de leur contrainte.

Les contraintes de cisaillement. Après avoir créé un écart, on constate que ces lignes sont perturbées autour de celui-ci.

Le volume du trou et le nombre d'étoiles augmentent. Chaque modification d'une discontinuité produit un nouveau type de répartition des contraintes. Nous pouvons modifier la concentration du stress en créant un grand nombre de combinaisons potentielles de géométrie d'éléments. Par exemple, si nous adoptons deux mesures. des trous sur la plaque, la distance entre les deux trous permet de créer une différence d'importance significative. De cette élévation du stress.

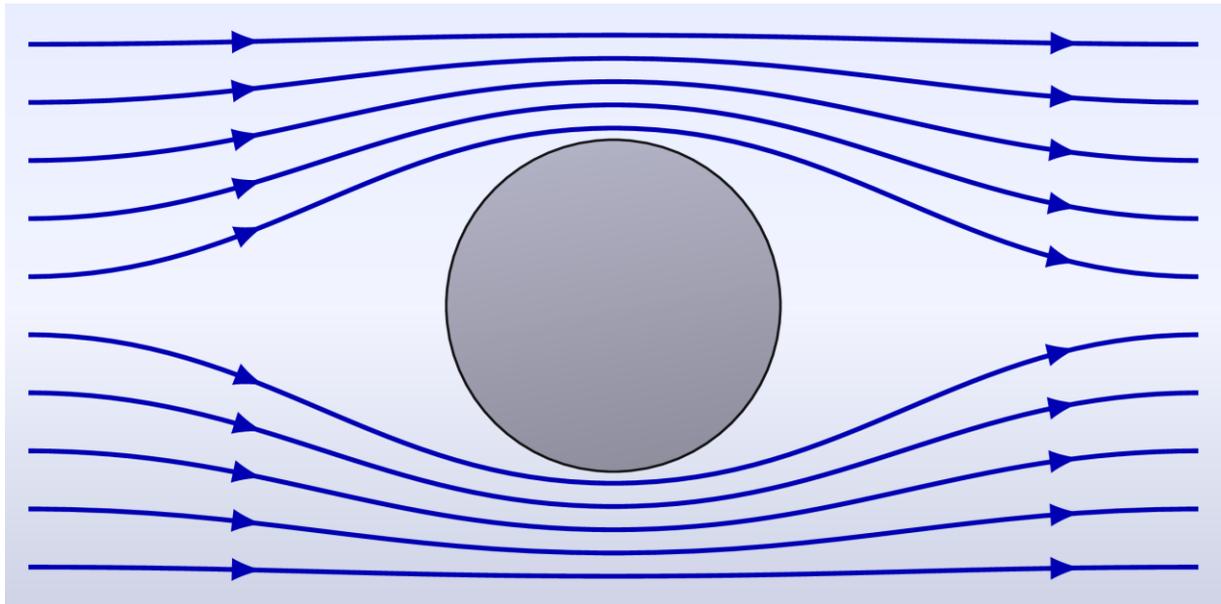


Figure 2-1 : Illustration schématique qualitative montrant l'origine de la concentration de contraintes

Il faut toutefois être conscient que ce phénomène existe, non seulement dans des pièces ou composants mécaniques, mais également dans une structure. Le cas de structures soudées est un bon exemple. En effet, la forme du cordon de soudage peut modifier considérablement la concentration de contraintes. On peut également avoir des phénomènes de concentration de contraintes microscopiques, au niveau des stries d'usinage par exemple. L'effet d'une entaille sur une pièce est la création de concentration de contraintes locales.[6]

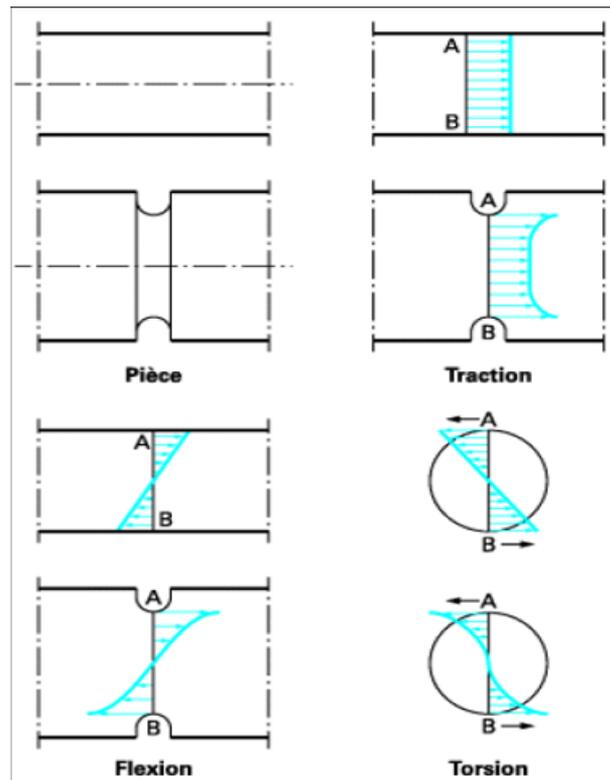


Figure 2-2 : Champs de contraintes dans différents cas de pièces lisses ou entaillées [6]

Dans une pièce non entaillée, la répartition des contraintes se représente par des droites et résulte de l'application des formules classiques de résistance de matériaux ; on a affaire dans ce cas à des contraintes nominales. Dans le cas de la flexion et de la torsion, la contrainte nominale est maximale en A et en B. Dans le cas de pièce entaillée avec la même section nominale, cette répartition est modifiée par le phénomène de concentration de contraintes. On parle alors de contraintes réelles. Dans le cas de la figure, les contraintes réelles sont également maximales en A et en B.

Dans certains cas, la morphologie de la pièce combinée, avec une sollicitation, fait que les contraintes nominales maximales et contraintes réelles maximales ne se trouvent pas au même point (Figure 11). Il faut signaler que ce type de configuration est relativement fréquent dans un composant ou une structure mécanique.[6]

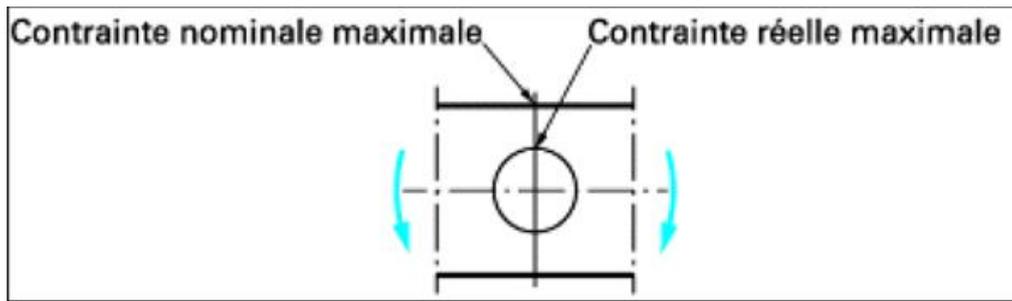


Figure 2-3 : Plaque percée en flexion : influence de la morphologie sur la localisation de contrainte maximale [6]

2.4. Facteurs de concentration de contraintes en phase de déformations plastiques

Le facteur de concentration de contraintes est déterminé en déformations élastiques, et pour élargir cette définition en déformations plastiques il faut faire la différence entre les matériaux fragiles et ductiles : - matériau fragile si sa rupture en traction (ou compression) se fait à moins de 5% d'allongement (ou de raccourcissement). - matériau ductile si sa rupture en traction (ou compression) se fait à plus de 5% d'allongement (ou de raccourcissement).[7]

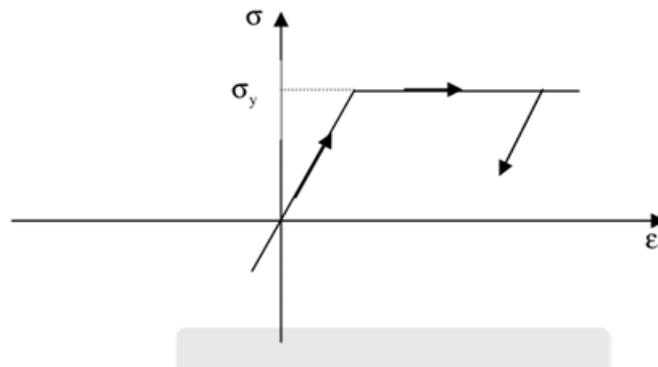


Figure 2-4 : Courbe de traction simple

En élasticité pur ($\sigma < \sigma_y$): avec σ_y c'est la limite élastique du matériau. -Le facteur de concentration de contraintes est : $K_1 = \sigma / \sigma_0$ -pour $d/w = 0.5$, on obtient $K_1 = 2.8$. -Les contraintes sont représentées sur la figure suivante.[7]

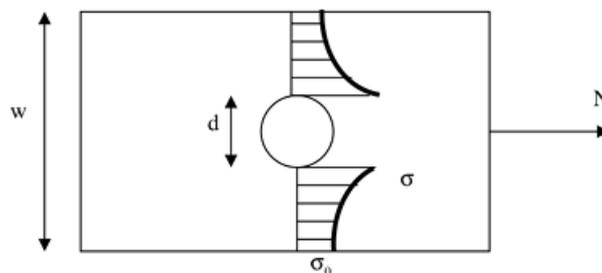


Figure 2-5 : Concentration de contraintes en élasticité

En élastoplastique ($\sigma = \sigma_y$) : avec σ_y c'est la limite élastique du matériau. -Le facteur de concentration de contraintes $K_2 = \sigma_y / \sigma_0$ -une réduction des contraintes se produit dans la section critique. -Les contraintes sont représentées sur la figure suivante. [7]

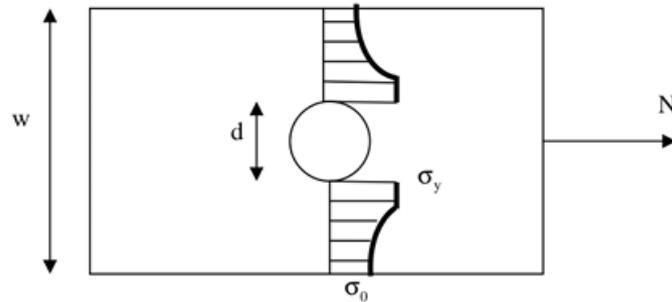


Figure 2-6 : concentration de contraintes en élastoplasticité

En plasticité pure ($\sigma > \sigma_y$) : avec σ_y c'est la limite élastique du matériau. - Le facteur de concentration de contrainte $K_3 = \sigma_y / \sigma_y = 1$ -Les contraintes sont représentées sur la figure suivant. [7]

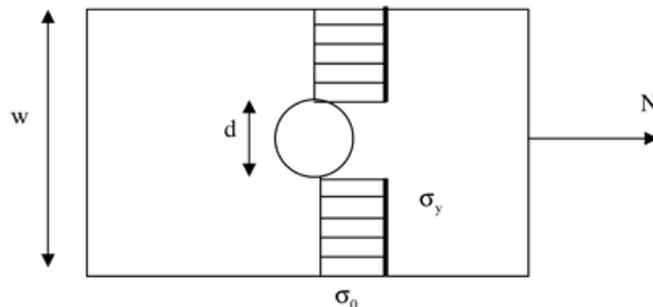


Figure 2-7 : Concentration de contrainte en cas de section entièrement plastique

2.5. Définition 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 N_R . 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 duquel l'amorçage d'une fissure est observé, appelé ici nombre de cycles à la rupture N_R . [8]

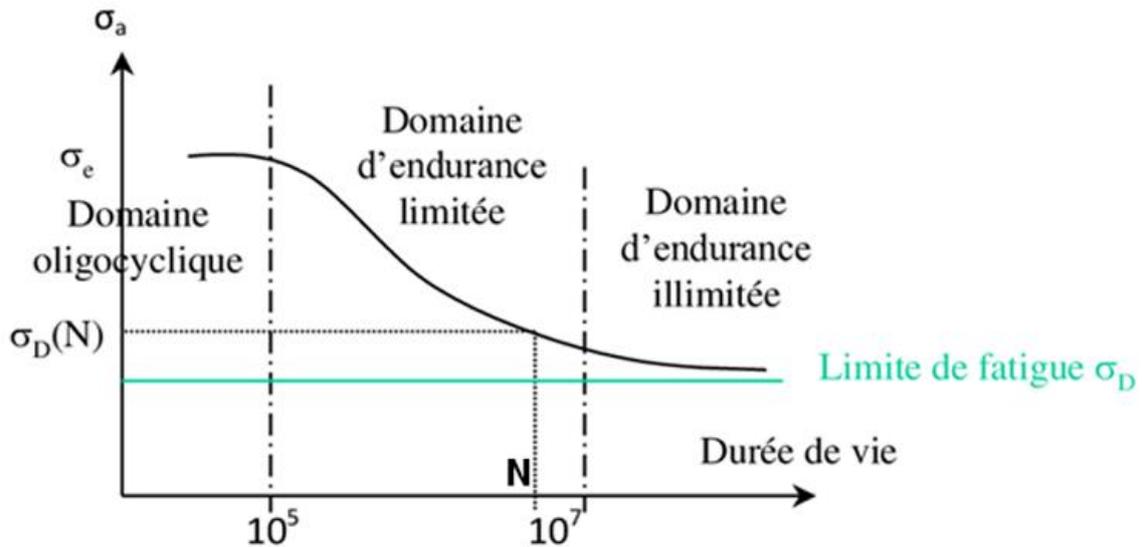


Figure 2-8 : Courbe de Wöhler

2.6. 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 :

$$R = \frac{\delta_{min}}{\delta_{max}} \quad (2.1)$$

2.7. Calcul des contraintes

Cette section donne plus de détails quant aux moyens utilisés pour calculer les différentes valeurs de contrainte. La méthode analytique, la méthode des éléments finis, ainsi que la méthode expérimentale y sont sommairement traitées. Pour plus de détails, consulter la référence [9].

2.7.1. Méthode analytique

La méthode analytique implique le calcul « manuel » des contraintes par des équations classiques de la résistance des matériaux et des formules paramétriques de concentration de contrainte.

2.7.1.1. Contrainte nominale

La contrainte nominale est obtenue par l'utilisation des formules élémentaires de résistance des matériaux. Pour les joints soudés, elle doit être évaluée dans la zone contenant la soudure, mais excluant les effets locaux de concentration de contrainte.

2.7.1.2. Facteur de concentration de contrainte (SCF)

Les facteurs de concentration de contrainte (K_1) peuvent être obtenus directement à partir de relations paramétriques contenues dans des abaques [10]. Certaines équations ont préalablement été obtenues grâce à des analyses par éléments finis très détaillées [11]. Dans le cas des joints soudés, ces relations font intervenir le rayon de pied du cordon, l'angle de raccordement, la longueur de la racine du cordon, ainsi que l'épaisseur des plaques. Les facteurs de concentration de contrainte sont utilisés pour estimer la contrainte locale en les multipliant à la contrainte nominale.

2.7.2. Méthode des éléments finis

Pour l'ensemble des méthodes, à l'exception de celle de la déformation locale, des analyses en mode élastique-linéaire sont réalisées. Il n'y a pas de distinction entre le matériau de la soudure et celui du métal de base. Les défauts métallurgiques et de soudure, ainsi que la présence de contraintes résiduelles sont pris en compte en post-analyse grâce à des facteurs de correction ou au principe de superposition de contraintes.

2.7.2.1. Contrainte nominale

La contrainte nominale peut être calculée à l'aide de la méthode des éléments finis si la géométrie entraînant la concentration de contrainte n'est pas modélisée (ex. : cordon de soudure). En général, la densité de maillage peut être plus grossière que dans le cas de la contrainte locale.

2.7.2.2. Contrainte géométrique (hot-spot)

Le calcul de la contrainte géométrique se prête particulièrement bien à la MEF. Toutefois, l'extrapolation doit être effectuée en post-analyse, soit par l'analyste ou par une application dédiée. Dans les cas simples, des éléments coques sont utilisés. Dans le cas où des éléments solides sont préférés, on recommande une couche d'éléments brique à 20 nœuds à travers l'épaisseur, avec un nombre réduit de points d'intégration (2 points). Ceci a pour effet de linéariser la distribution de contrainte à travers l'épaisseur des plaques, ce qui est requis par cette méthode. La référence [12] présente de façon détaillée un modèle MEF avec maillage solide typiquement employé pour le calcul de la contrainte géométrique.

La densité de maillage entre les points d'extrapolation doit fournir une distribution de contraintes ayant convergée. Le cordon de soudure doit être pris en compte, sans toutefois

inclure la modélisation du rayon de pied. Dans le cas d'éléments solides, le cordon est modélisé à 45 degrés (soudure d'angle) ou à 30 degrés (soudure bout-à-bout) avec un rayon nul. Dans le cas des éléments coques, on utilise des éléments inclinés ou on augmente "l'épaisseur" des éléments dans la zone de soudure afin de tenir compte de l'augmentation de rigidité. Dans les cas simples, une analyse 2D peut être suffisante.

2.7.2.3. Contrainte locale

Le calcul de la contrainte locale en pied de soudure nécessite la modélisation du rayon réel ou du rayon fictif. Il nécessite également une densité de maillage importante dans la zone du pic de contrainte non-linéaire. Certains auteurs recommandent une taille d'éléments à cet endroit]. En général, plus le rayon de pied de soudure est petit, plus la valeur de la contrainte locale sera influencée par la taille des éléments [13].

Comme le calcul tient compte des paramètres locaux du cordon de soudure, l'utilisation d'éléments coques n'est pas possible et l'utilisation d'éléments solides 3D ou 2D quadratiques est recommandée selon le type d'analyse. On recommande également un minimum de 2 éléments à travers l'épaisseur.

Étant donné la densité de maillage importante nécessaire à une analyse locale, l'utilisation d'un modèle global avec maillage grossier puis d'un modèle local raffiné est recommandée. Le premier est utilisé afin de déterminer les contraintes globales, ainsi que les efforts de réaction internes qui servent de conditions aux limites pour le modèle local. Ce dernier est ensuite utilisé avec une densité de maillage.

2.7.3. Méthode expérimentale

L'obtention des valeurs de contrainte peut également se faire expérimentalement à l'aide de jauges extenso métriques ou de méthodes optiques.

2.7.3.1. Jauges extenso métriques

Une jauge extenso métrique est une résistance électrique collée à la surface de la pièce, à l'endroit où la mesure de déformation est voulue. La déformation de la pièce entraîne un changement de la résistance électrique de la jauge, qui se traduit par une variation de tension électrique aux bornes d'un pont de jauge. Cette variation est calibrée de façon précise afin de donner des valeurs de microdéformation (μs). Une jauge permet donc de mesurer seulement la déformation locale à l'endroit où elle est appliquée. L'obtention des déformations permet ensuite de calculer les contraintes selon les relations de résistance des matériaux, tant qu'on demeure en régime élastique linéaire.

Les jauges permettent entre autres de valider les calculs de contrainte nominale lorsqu'elles sont placées loin des concentrateurs de contrainte, ou de mesurer les contraintes aux points

d'extrapolation si utilisées avec la méthode hot-spot. Dans ce cas, il faut que la grille de la première jauge soit située à une distance d'au moins $0,3t$ du pied de soudure [14]. Il faut donc utiliser de très petites jauges. La mesure des contraintes locales en pied de soudure est toutefois impossible avec des jauges.

Il existe divers types de jauges, dont les dimensions sont généralement de l'ordre de $0,25 \text{ mm}$ à 25 mm^1 . Les plus couramment utilisées pour l'obtention des contraintes sont :

-jauge uniaxiale : contrainte selon 1 axe

-rosette de deux jauges à 90° : utilisée pour mesurer les contraintes principales lorsque les orientations des axes principaux sont connues ;

-rosette de trois jauges à 45° ou 60° : utilisée lorsque l'orientation des axes est inconnue. Permet de calculer les contraintes principales et la contrainte équivalente de von Mises, par exemple ;

-bande de jauges (strip) : plusieurs petites jauges l'une à la suite de l'autre. Utilisée pour connaître le gradient de contrainte selon un axe.

2.7.3.2. Méthodes optiques

Différentes méthodes optiques utilisées depuis plusieurs années permettent de connaître de façon qualitative le champ de déformation sur une pièce. D'autres méthodes plus récentes permettent pour leur part de mesurer avec précision le champ de déformation.

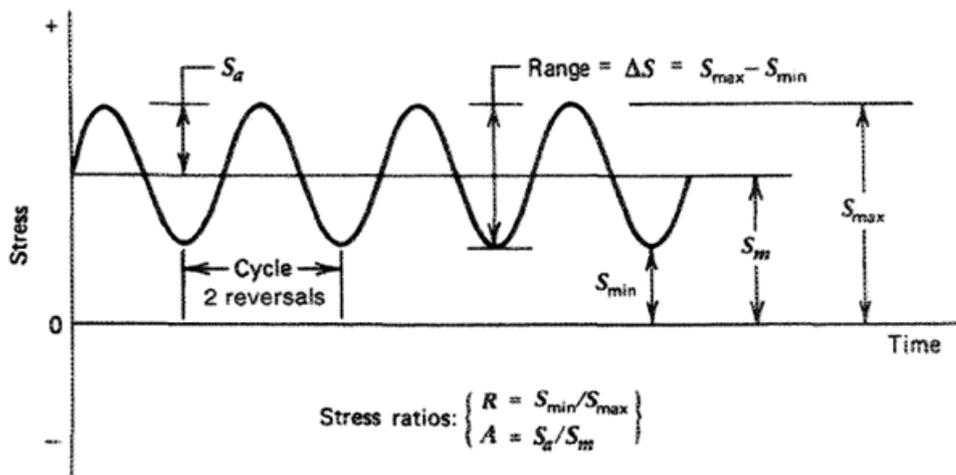


Figure 2-9 : nomenclature utilisée pour décrire un chargement cyclique d'amplitude constant

Sur cette figure, on retrouve :

S_a : l'amplitude de contrainte ou la contrainte alternée ;

S_m : la contrainte moyenne ;

S_{max} : la contrainte maximale ;

S_{min} : la contrainte minimale ;

ΔS : la variation totale de contrainte, soit $S_{max} - S_{min} = 2S_a$;

R: le rapport de chargement ou ratio de fatigue, donné par S_{min}/ S_{max} .

Un chargement cyclique de fatigue est généralement exprimé en fonction de la contrainte moyenne, de la contrainte alternée, du rapport de chargement, ainsi que de la forme (sinusoïdale, triangulaire, carrée, etc).

2.8.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. le facteur théorique de concentration de contrainte Kt est défini comme:[15]

$$k_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \quad (2.2)$$

2.8.1. 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.

2.8.2. 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 Kt .[8]

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{(b - d) \times t} \quad (2.3)$$

Conclusion

Dans ce chapitre, on a donné les notions de base sur la concentration de contraintes, commençant par un historique et une définition de la concentration de contraintes. Ensuite, les facteurs de concentration de contraintes en phase de déformations plastiques. La Courbe de Wöhler et le cycle de contrainte en fatigue sont aussi discutés.

Ce chapitre examine également les méthodes de calcul des contraintes, incluant l'approche analytique, la méthode des éléments finis et la méthode expérimentale, offrant ainsi des outils variés pour l'analyse des contraintes.

Enfin, le facteur de concentration de contrainte (K_t) est détaillé, différenciant entre les contraintes maximales réelles et les contraintes nominales.



CHAPITRE 3
LES LOGICIELS DE
SIMULATION UTILISÉ

Chapitre 3 : Les logiciels de simulation utilisés

3.1. Les logiciels

3.1.1. Introduction

Les logiciels aident l'appareil à comprendre ce qu'il doit faire et comment le faire, et sans logiciels l'ordinateur peut faire rien donc dans ce chapitre on va expliquer les logiciels qui aident dans notre recherche.

3.1.2. Définition de logiciels

Les logiciels comprennent principalement une série de programmes informatiques permettant aux ordinateurs d'effectuer des tâches particulières. Il englobe à la fois les logiciels système, chargés de surveiller le fonctionnement des ordinateurs, et les logiciels d'application spécialement conçus pour accomplir des tâches particulières, telles que la bureautique ou la navigation sur Internet.

Un logiciel peut jouer un rôle important dans une mémoire de fin d'étude. Il peut être utilisé pour :

- **Analyser des données**
- **Créer des visualisations**
- **Modéliser des systèmes**
- **Simuler des scénarios**
- **Rédiger la mémoire**

3.1.3. Exemples de logiciels utilisés dans les mémoires de fin d'étude

- **Logiciels d'analyse de données** : SPSS, R, Python
- **Logiciels de visualisation de données** : Tableau, Power BI, Google Data Studio
- **Logiciels de modélisation de systèmes** : casca, Simulink, MATLAB, AnyLogic
- **Logiciels de simulation** : franc2d, cast3m, Arena, AnyLogic, FlexSim
- **Logiciels de traitement de texte** : Microsoft Word, Google Docs, LaTeX

Et dans notre mémoire en vas utiliser : Microsoft Word, Excel, casca, farn2d, caste3m, SolidWorks.[16]

3.1.4. Remarque

Le logiciel peut être un outil précieux pour les étudiants qui rédigent une mémoire de fin d'étude. Il peut aider à analyser les données, à créer des visualisations, à modéliser des systèmes, à simuler des scénarios et à rédiger la mémoire. En choisissant le bon logiciel, vous pouvez améliorer la qualité de votre mémoire et faciliter votre travail.

3.2.CASCA

Le programme CASCA est un programme de génération de maillage simple. Bien que strictement parlant, il ne fait pas partie de FRANC2D, il est distribué avec FRANC2D, et peut être utilisé pour générer des maillages initiaux pour les simulations FRANC2D.

3.2.1. Les fichiers

Est dans ce logiciel on a besoin de 2 fichiers

1- Les fichiers csc sont des fichiers de redémarrage générés par CASCA. Un fichier de redémarrage permet de enregistrer leur travail actuel et récupérez-le plus tard. C'est pratique lorsqu'un maillage la description ne peut pas être complétée en une seule séance ou pour apporter des modifications à un maillage existant.

Le fichier csc est créé lorsque l'option d'ÉCRITURE (pas d'ÉCRITURE MESH) est sélectionnée dans CASCA.

2-Les fichiers inp sont le moyen par lequel de nouveaux problèmes sont spécifiés pour un Simulation sur FRANC2D. Ce sont des fichiers ASCII lisibles par l'homme qui décrivent un maillage initial dans un format similaire à ceux utilisés par la plupart des autres FEM programmes. Le format de ces fichiers est spécifié à l'Annexe A

Les fichiers inp peuvent être générés en traduisant (fusionnant) des fichiers CASCA qui décrivent chaque couche.

Les fichiers CASCA sont écrits en utilisant l'option WRITE MESH.

Une traduction similaire est requise si un autre programme de génération de maillage est utilisé.

Des traducteurs sont disponibles pour les fichiers d'éléments et de nœuds ANSYS et PATRAN fichiers neutres.[17]

• Interface de CASCA

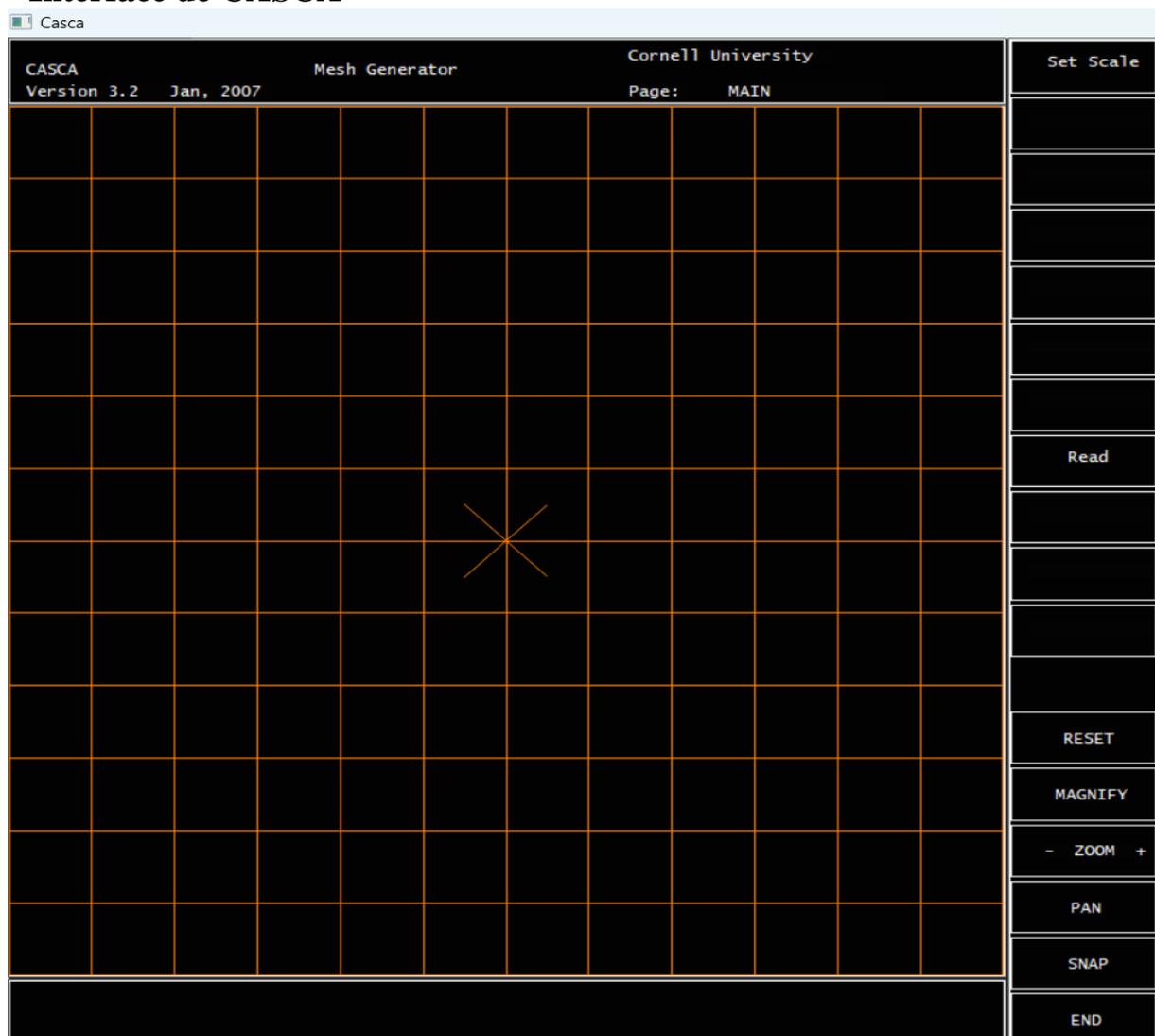


Figure 3-1 : interface de casca

• Les fichiers finals quand va utiliser

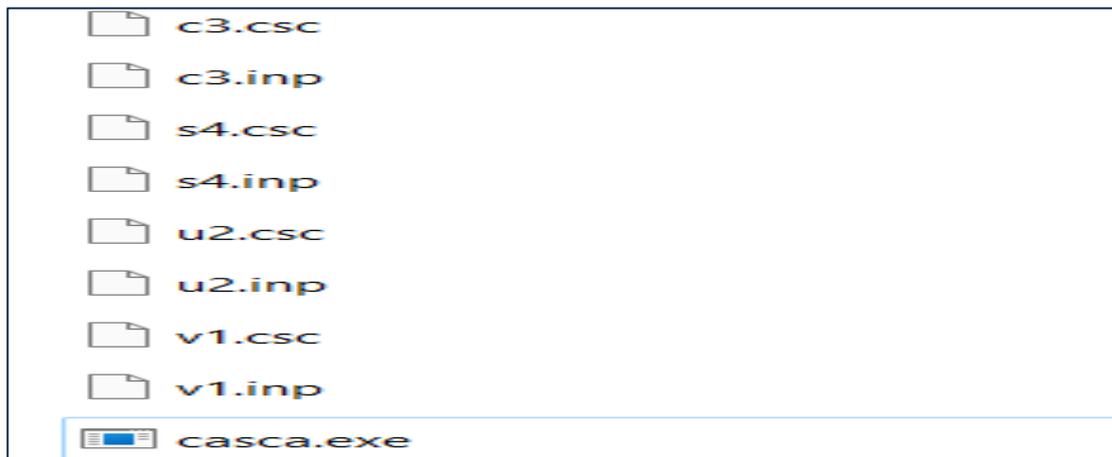


Figure 3-2 : les fichiers finals de casca

3.3.Franc2d

3.3.1. Introduction

Un programme hautement interactif pour la simulation de fissure croissance des structures en couches. Le programme est une extension de FRANC2D pour rendre possible la représentation de structures en couches telles que des joints à recouvrement ou réparations collées. Chaque couche est représentée par un maillage séparé qui peut se chevaucher avec d'autres et être connecté avec des rivets ou avec une colle adhésive.

Dans le programme FRANC2D, toutes les commandes utilisateur se font en cliquant la souris sur l'une des options affichées dans le menu qui apparaît toujours à droite de la fenêtre des opérations. Les commandes sont disposées dans un arbre, et l'utilisateur monte ou descend vers chaque branche récursivement en sélectionnant l'option souhaitée avec le bouton gauche de la souris.

Une fenêtre de message est toujours présente sous la fenêtre des opérations pour demander à l'utilisateur de passer à l'étape suivante de la procédure demandée. Pour certains opérations FRANC2D crée une fenêtre mobile détachée séparée appelée la fenêtre auxiliaire. Parfois, il peut être nécessaire de déplacer cette fenêtre afin d'afficher des informations dans plusieurs fenêtres simultanément. Entrée dans FRANC2D, certaines entrées de données et opérations d'E / S invoquées lors de la l'exécution de FRANC2D se fait à partir de la fenêtre de contrôle du programme.

Le programme FRANC2D utilise deux types de curseurs. Le curseur normal a la forme d'une flèche. Lorsque vous voyez ce curseur, cela signifie que le programme attend que vous sélectionniez une option de menu ou une autre entrée graphique. Les le deuxième curseur est une montre-bracelet stylisée. Lorsque vous voyez ce curseur, cela signifie que soit le

programme traite des données (par exemple, effectue une contrainte analyse), ou il attend une entrée dans la fenêtre de contrôle du programme[18]

3.3.2. Structure des Données

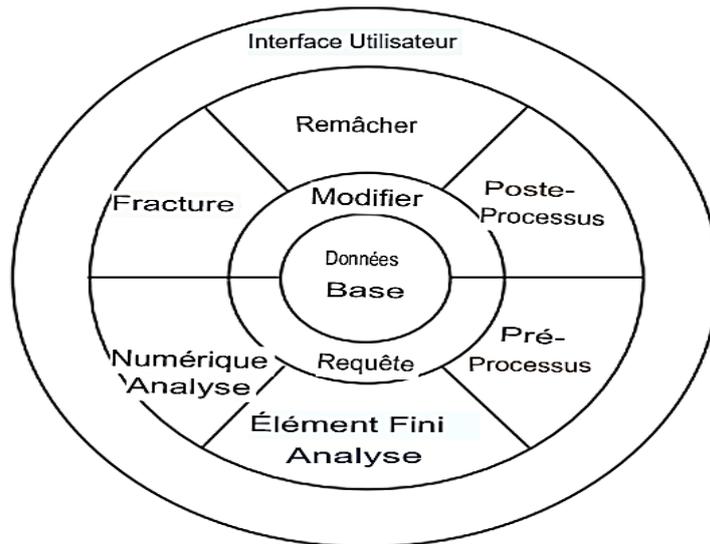
Le cœur du programme est la base de données. C'est le référentiel de toutes les informations utilisées par les différentes parties du programme.

La base de données est uniquement accessible via les routines d'accès à la base de données. Tous des routines de niveau supérieur sont requises pour utiliser les deux types de routines d'accès (modifier et interroger les routines) pour stocker et récupérer des informations.

La couche au-dessus des routines de base de données est la collection de routines qui implémenter la fonctionnalité de calcul du programme. Ce sont vaguement regroupés en six catégories. Les routines de prétraitement effectuent des modifications sur la description du modèle et les conditions aux limites. Les routines de remaillage modifient la maille d'élément pour la propagation des fissures. Routines de mécanique des fractures mettre en œuvre les différentes théories de propagation des fissures et le facteur de charge automatique modification. Les routines de post-traitement affichent la contrainte et le déplacement informations. Les routines d'éléments finis formulent des matrices de rigidité d'élément, assembler des matrices de rigidité globales, minimiser les largeurs de bande problématiques, résoudre pour déplacements, et récupérer les contraintes des éléments. L'analyse numérique les routines remplissent les fonctions nécessaires à la solution des systèmes de non-linéaire équations.

Encerclant les routines fonctionnelles est l'interface utilisateur, qui est une collection des pilotes de menu et des routines d'affichage pour permettre à l'analyste d'interagir avec le programme.

La structure de données utilisée dans FRANC2D est conçue autour d'une modification structure de données à bords ailés (Baumgart, 1975 ; Weiler, 1985 ; et Woo, 1985) qui a été initialement développé pour stocker la topologie de surface des polyèdres. Les la structure de données se compose de trois entités topologiques : les sommets, les arêtes et les faces.[18]



Organisation conceptuelle de FRANC2D / L

Figure 3-3 : organisation conceptuelle de franc2d

3.3.3. Éléments Finis

-Éléments du Continuum :

FRANC2D utilise des éléments de sérendipité standard à huit ou six nœuds avec fonctions de forme quadratique. Ces éléments fonctionnent bien pour l'analyse élastique et présentent l'avantage que la singularité de contrainte à la pointe de la fissure peut être incorporée dans la solution en déplaçant les nœuds latéraux vers le quart de point lieux (Henshell et Shaw, 1975)

-Éléments d'Interface :

Les éléments d'interface sont utilisés pour représenter le contact entre les surfaces. L'utilisateur peut spécifier une relation entre les tractions de surface et les relatifs déplacements des surfaces. Les tractions de surface sont ensuite intégrées à donner des charges nodales équivalentes. Ces charges sont ensuite incluses lors de la solution de relaxation dynamique

-Rivets et Éléments Adhésifs :

Des rivets sont traités en tant que ressorts de cisaillement élastiques, où la rigidité de rivet est à constante matérielle. Les rivets ne peuvent être introduits qu'aux nœuds. Quand un rivet connecte deux couches, il doit être défini au niveau d'un nœud de la couche supérieure. Cette élimine le besoin d'interpoler les déplacements à un point de rivet dans l'ordre pour calculer les forces de rivetage. En même temps, il permet un stockage efficace d'informations dans la base de données.

Un élément adhésif est similaire à un élément de rivet, sauf que la force de cisaillement est réparti sur un élément entier et n'est pas confiné à un nœud. C'est on suppose que la couche adhésive est homogène, linéaire élastique et isotrope.

L'adhésif est supposé se déformer uniquement en cisaillement et cette déformation est uniforme sur toute l'épaisseur de l'adhésif. Le cisaillement de surface transmis à travers l'adhésif est supposé agir comme une traction de surface sur l'adhérent. Les contraintes de cisaillement dans l'adhésif sont données par :

t = Contrainte de cisaillement

G = Module de cisaillement

h = Épaisseur de l'adhésif

u = Déplacements dans les couches 1 et 2

3.3.4. Couches

Une structure en couches, telle qu'un joint à recouvrement riveté ou un joint à recouvrement collé, est en fait une structure tridimensionnelle. Un élément fini tridimensionnel ou la modélisation mathématique d'une telle structure impliquera plusieurs degrés de complexité. En FRANC2D on fait des hypothèses simplificatrices qui restent permettez-nous de saisir les caractéristiques essentielles de la réponse.

Les hypothèses inclure :

- Chaque couche est considérée comme une structure bidimensionnelle individuelle sous un état de contrainte plane ou de déformation plane.
- Seuls les déplacements linéaires hors plan et les effets de flexion sont inclus.
- Les couches individuelles peuvent être connectées avec des rivets ou des liaisons adhésives.
- Un rivet est traité comme un ressort de cisaillement élastique entre deux nœuds de chacun couche. Un adhésif est supposé répartir les forces de cisaillement sur l'ensemble d'un élément de chaque couche.

Comme indiqué, chaque couche est représentée comme un fini bidimensionnel distinct maille d'élément. Dans la version monocouche de FRANC2D, le fini les informations sur les éléments sont stockées dans une base de données centrale à l'aide d'une aile modifiée structure de données de périphérie. Tous les sous-groupes de programmes ont accès à cette base de données.

La stratégie adoptée pour incorporer plusieurs couches dans FRANC2D

Était de stocker le maillage d'éléments finis dans une base de données distincte pour chaque couche.

A un instant donné, une seule couche est rendue disponible dans les données centrales base. Ceci est réalisé en utilisant deux fonctions utilitaires qui chargent ou déchargent une couche de la base de données centrale. L'analyste peut choisir de travailler sur toute couche particulière en cliquant sur un bouton de menu dans l'interface utilisateur. Cette stratégie conserve la modularité du programme d'origine.

La structure de données pour le visage a été modifiée pour incorporer deux informations supplémentaires. Ce sont des numéros de visage correspondant à un visage dans les couches au-dessus et en dessous. Cela facilite la navigation à partir d'une couche à l'autre. Pour implémenter cela, toutes les couches doivent avoir exactement la même maille dans les régions dans lesquelles ils se chevauchent où les adhésifs sont utilisés pour attacher les couches. Ceci est requis dans le maillage initial et est automatiquement géré pendant le remaillage. Bien que des maillages identiques simplifient la gestion des données dans les couches, des maillages identiques sont également nécessaires pour assurer l'intégration correcte des contraintes de cisaillement de l'adhésif de chaque côté d'une face de fissure.

Pour les régions où aucun adhésif ne sera utilisé pour fixer les couches, le maillage n'est pas requis pour être le même. Les routines de remaillage détecteront automatiquement si le même maillage est nécessaire pour préserver la liaison adhésive et sera appliqué automatiquement l'exigence "même maillage" si nécessaire.[18]

3.3.5. Fracture

Les calculs de fracture incorporés dans FRANC2D utilisent des calculs bidimensionnels concepts de mécanique linéaire de la rupture élastique (LEFM). L'intensité du stress les facteurs qui régissent le processus de fracture dans le contexte du LEFM sont calculés en utilisant les techniques de corrélation de déplacement ou de fermeture de fissure modifiée.

FRANC2D peut modéliser la propagation quasi statique des fissures et la propagation des fissures en raison de la charge de fatigue. La fissure se propagera dans la direction prévue en utilisant l'une des trois théories de propagation implémentées dans FRANC2D.

Ce sont la théorie σ θ max [Erdogan et Sih, 1963], la théorie G θ max [Hussain et autres., 1974], et la théorie S θ min [Sih, 1974].

Effectivement, toutes les approches donnent les mêmes trajectoires de fissure et minimisent les intensités du stress du mode II.[18]

3.3.6. Remaillage pendant la croissance des fissures

Lors d'une analyse discrète des fissures, non seulement la géométrie de la fissure est représentée explicitement à chaque étape, mais le maillage doit être modifié à chaque étape pour refléter la configuration actuelle de la fissure. L'automatique la stratégie de remaillage

adoptée dans FRANC2D consiste à supprimer les éléments du voisinage de la pointe de la fissure, déplacez la pointe de la fissure, puis insérez un treillis d'essai pour connectez la nouvelle fissure au maillage existant. Le Suhara-Fukuda modifié l'algorithme [Shaw et Pitchen, 1978] est utilisé pour générer ce maillage d'essai de éléments triangulés. L'utilisateur est autorisé à modifier le maillage s'il ne l'est pas satisfaisant. Cette technique exploite la nature interactive du logiciel et s'assure que la décision sur l'adéquation d'un maillage appartient à l'analyste.[18]

3.3.7. Procédure solution

Deux méthodes de solution sont à la disposition de l'utilisateur. Le premier est un linéaire direct solveur d'équations pour systèmes symétriques stockés au format skyline. Le linéaire le solveur est préféré et peut être utilisé pour tous les cas sauf lorsqu'il est non linéaire des éléments d'interface sont utilisés. Pour ce cas, il est nécessaire d'utiliser le solveur de relaxation dynamique. Ce solveur est généralement plus lent que le solveur direct solveur, mais convergera toujours pour les problèmes de contact non linéaires. Annexe B fournit plus d'informations sur les solveurs.

3.3.8. Infographie

Le programme FRANC2D maximise l'interaction graphique entre les l'utilisateur et le modèle en faisant de l'interaction graphique une partie intégrante de l'algorithme. La possibilité de voir un affichage du modèle en cours d'analyse et de visualiser les résultats sous forme graphique est une fonctionnalité très précieuse. L'analyste interagit avec le programme via une interface utilisateur pilotée par menu. C'est une collection de routines qui créent et pilotent des menus et appellent les menus appropriés routines d'action après qu'un analyste a choisi une option de menu.

Les routines graphiques de bas niveau du programme ont été encapsulées dans une collection de routines appelées le sous-système graphique indépendant de l'application (GRA). Ces routines sont écrites dans le langage de programmation C pour permettre portabilité sur les plateformes UNIX. Ces routines sont écrites de manière modulaire mode par lequel le code graphique dépendant du périphérique est séparé du reste du code graphique.[18]

3.3.9. Fichiers franc2d

Il existe un certain nombre de types de fichiers générés ou utilisés par le Programme FRANC2D. Le contenu de ces fichiers et leurs utilisations sont discuté ici. Dans la plupart des cas, les *dans la figure sont remplacés par des noms de fichiers choisi par l'analyste.

3.3.10. FRANC2D Redémarre les fichiers

Le programme FRANC2D génère deux types de fichiers de redémarrage *.BDM et *.rer. Les fichiers de redémarrage permettent de sauvegarder leur travail en cours et de le récupérer plus tard.

Ceci est pratique lorsqu'une simulation ne peut pas être terminée en une seule séance ou pour passer en revue les résultats des simulations précédentes.

Les analystes de FRANC2D prennent l'habitude de faire redémarrer les fichiers fréquemment. Les fichiers de redémarrage FRANC2D sont générés par l'option d'ÉCRITURE dans FRANC2D.

-fichiers wdb

Le *.les fichiers wdb contiennent la plupart des informations associées à une simulation.

Cela inclut le maillage, les conditions aux limites, les fissures et l'intensité des contraintes facteurs. WDB signifie Base de données à bords ailés, la structure de données utilisée pour stocker la topologie maillée et organiser la plupart des autres informations stockées par le programme. Contrairement au *.fichiers rer, informations dans le *.le fichier wdb ne peut pas être récupéré si le fichier est supprimé. Le *.les fichiers wdb ne sont pas formatés et ne le sont pas lisible par l'homme.

-fichiers rsp

Le *.les fichiers rsp (réponse) contiennent des résultats d'analyse, en particulier nœuds déplacements. Ces informations sont stockées dans un fichier afin que les résultats de l'analyse puissent être visualisés sans refaire une analyse. Les informations contenues dans ces fichiers peuvent être régénérées en effectuant une analyse de stress. Les fichiers peuvent être supprimés pour économiser de l'espace.

3.3.11. Fichiers de sortie FRANC2D

-fichiers GRF

Le *.les fichiers grf sont créés lorsque l'option FICHIER est sélectionnée sur le tracé de ligne menu de page (Voir l'option TRACÉ DE LIGNE). Ces fichiers au format ASCII contiennent les points de données utilisés pour créer les tracés affichés dans la fenêtre auxiliaire.

La première ligne du fichier donne le nombre de paires X-Y, et est suivie de lignes contenant une paire de données X-Y.

-fichiers gra*. ps

Les fichiers gra*.ps sont des fichiers papier postscript. Ces fichiers sont créés par en sélectionnant l'option d'ACCROCHAGE dans n'importe quel menu. Les fichiers contiennent

une image papier, au format postscript, du contenu de la fenêtre de données. Les noms de fichiers sont générés séquentiellement et automatiquement par le programme. Une série typique est

gra0.ps, gra1.ps, gra2.ps ... Le numéro de dossier est incrémenté chaque fois que la fenêtre de données est ACCROCHÉE. AVERTISSEMENT : La séquence de noms de fichiers commence avec gra0.ps chaque fois que le programme est exécuté et que de nouveaux fichiers seront écrasés les anciens fichiers. Une copie papier doit être renommée si elle doit être sauvée.

-fichiers sif

Les fichiers Sif contiennent des historiques de facteurs d'intensité de stress. Une extension de nom de fichier est non générée automatiquement pour ces fichiers. Les fichiers contiennent l'intensité du stress facteurs pour toutes les fissures pour toutes les longueurs de fissures qui ont été analysées, dans une forme formatée lisible par l'homme. Un script de post-traitement est disponible pour extraire des données pour les tracés XY.

3.3.12. Interface de franc2d

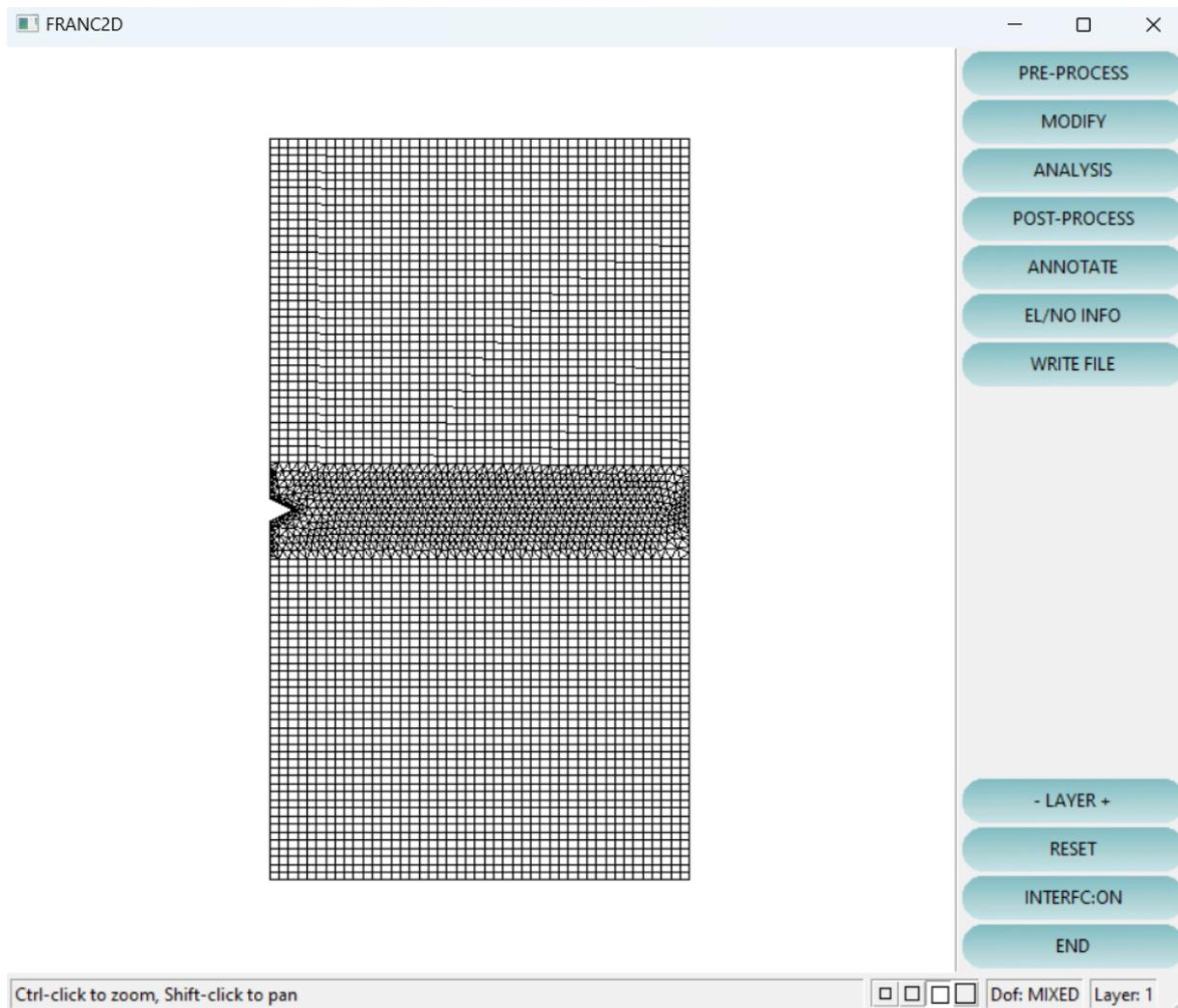


Figure 3-4 : interface de franc2d

3.4. CAST3M

3.4.1. Introduction

Département de modélisation des systèmes et des structures (DM2S) de la Direction de l'énergie nucléaire du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Cast3M s'inscrit dans une activité de recherche dans le domaine de la mécanique. Son objectif est de fournir un outil de haut niveau pour la conception, le dimensionnement et l'analyse des structures et des composants. Outre les processus de résolution, Cast3M intègre également des fonctions de construction de modèles (pré-processeur) et des capacités d'analyse des résultats (post-traitement). Cast3M est un logiciel polyvalent qui permet aux utilisateurs de développer des fonctions adaptées à leurs besoins spécifiques. Il est largement utilisé dans le secteur de

l'énergie nucléaire à des fins de simulation et comme plate-forme pour le développement d'applications spécialisées.

3.4.2. Historique

À l'origine, les programmes informatiques étaient écrits pour résoudre des problèmes spécifiques et fonctionnaient généralement comme des boîtes noires. Au CEA/DMT, trois programmes ont été développés pour constituer le cœur du système Cast3M : un programme de maillage, un programme de calcul et un programme de visualisation des résultats. Au fur et à mesure que l'éventail des problèmes s'élargissait, des programmes de calcul distincts ont été mis au point pour permettre la communication entre eux en cas de besoin. Les progrès du matériel informatique ont ensuite permis de développer de nombreuses fonctions qui réduisaient le temps nécessaire à la préparation des données. Cela signifiait que tous les codes devaient être mis à jour pour intégrer les améliorations et les corrections apportées à l'un d'entre eux. En outre, les ensembles de données sont devenus plus complexes, nécessitant un post-traitement capable de lire différents fichiers en fonction des codes de calcul utilisés. Ces défis ont été aggravés par de nouvelles exigences, telles que l'implication de structures plus complexes faisant intervenir divers phénomènes couplés (couplage mécanique-thermique), ou l'intégration de fonctions de maillage dans le processus de calcul (optimisation de la forme).[19]

3.4.3. Organisation d'un calcul

Le calcul numérique est utilisé pour créer un code de calcul de nouvelle génération appelé Cast3M. Contrairement aux codes de calcul précédents, qui étaient conçus pour résoudre des problèmes spécifiques auxquels les utilisateurs devaient se conformer, Cast3M peut être personnalisé pour répondre aux besoins de l'utilisateur et résoudre ses problèmes spécifiques. En outre, Cast3M permet à l'utilisateur de comprendre le problème réel et les méthodes utilisées.

Processus d'un calcul

Une analyse générale réalisée à l'aide de la méthode des éléments finis peut être décomposée en quatre grandes étapes :

- Choix de la géométrie et du maillage.
- Définition du modèle mathématique.
- Résolution du problème discrétisé.
- Analyse et post-traitement des résultats.

Chacune de ces étapes peut également être divisée en une série de processus élémentaires.

1. Choix de la géométrie et du maillage :

- Définition des points, des lignes, des surfaces et des volumes.

- Discrétisation.

2. Définition du modèle mathématique :

- Définition des données caractérisant le modèle :

Type d'analyse : déformations ou contraintes planes, axisymétrie, séries de Fourier, etc.

Formulation : mécanique, thermodynamique, dynamique des fluides.

Comportement des matériaux : élastique (isotrope, orthotrope, etc.), plastique (isotrope, parfait, etc.).

Type d'élément : poutres, barres, coques, etc.

- Définition des propriétés des matériaux (constantes élastiques, densité, etc.).

- Définition des propriétés géométriques (section de la poutre, inertie, épaisseur de la coque, etc.)

- Définir les conditions aux limites.

- Définir les charges.

3. Résoudre le problème discrétisé :

- Calculer les matrices de rigidité et de masse de chaque élément fini.

- Assembler les matrices de rigidité et de masse de la structure entière.

- Appliquer les conditions aux limites.

- Appliquer les charges.

- Résoudre le système d'équations.

4. Analyse et post-traitement des résultats :

- Grandeurs locales : déplacements, contraintes, déformations, etc.

-Quantités globales : déformation maximale, énergie de déformation, etc...

Les programmes traditionnels d'analyse par éléments finis sont structurés de cette façon, chaque étape étant associée à un module du code :

- Le préprocesseur définit le maillage et le modèle mathématique.

- Le programme de calcul exécute une série de processus basés sur la procédure de calcul choisie par l'utilisateur. L'utilisateur n'a aucun contrôle sur la séquence de ces processus, car la procédure fonctionne comme une boîte noire sans intervention de l'utilisateur.

- Le postprocesseur effectue les traitements nécessaires après avoir reçu les résultats des modules précédents.

Il est clair qu'un code de calcul traditionnel ne permet pas à l'utilisateur d'intervenir pour apporter des modifications en fonction de ses besoins spécifiques. Cependant, il peut être très

utile de pouvoir définir la séquence la plus appropriée de processus élémentaires pour chaque étape, pas à pas.

Cela devient encore plus précieux lorsque l'utilisateur doit résoudre divers problèmes à différents moments du processus de résolution.

Le stockage et la récupération de données pour mettre en pause un calcul et le reprendre plus tard,

- la possibilité d'itérer les étapes souhaitées.

3.4.4. Principes de développement

Cast3M sert avant tout d'outil de calcul, englobant tous les processus passés et s'accommodant de ceux à venir pour répondre à de nouveaux problèmes. Il permet aux utilisateurs d'adapter leurs calculs en fonction des questions spécifiques qu'ils doivent résoudre, en leur fournissant des connaissances sur le problème et les méthodes employées.

Cette réalisation a été rendue possible grâce à :

- En mettant l'accent sur la simplicité en tant que principe,
- L'observation de quatre règles : orthogonalité, visibilité, régularité et documentation,
- Poursuivant l'objectif de la qualité.

La simplicité est un principe de bon sens, même si son application n'est pas toujours évidente. Elle sert de fondement à la démarche scientifique, car il est plus facile de compliquer les choses simples. Cependant, la simplicité n'est pas synonyme de simplisme.

L'orthogonalité des processus repose sur deux idées :

- Les processus sont indépendants les uns des autres, ce qui permet de les changer ou de les modifier sans affecter le reste.
- Tous les processus peuvent être combinés, ce qui renforce la puissance du code.

Par conséquent, le fonctionnement des processus peut être testé indépendamment.

La visibilité dans le contexte des processus vise à éliminer la présence de données cachées en veillant à ce que toutes les données soient indiquées au processus de manière visible, à l'endroit où elles sont utilisées. Cela permet avant tout de détecter les erreurs de données au moment où elles sont définies, plutôt que beaucoup plus loin dans le calcul, ce qui rendrait leur diagnostic difficile.

Cette double règle a un corollaire immédiat : les informations créées par le processus doivent également être visibles.

La régularité des processus englobe à la fois la régularité dans l'utilisation des processus et la régularité dans les possibilités d'un processus. - Régularité dans l'utilisation des processus : il n'y a pas d'exception dans la syntaxe des données. Cela permet d'avoir des syntaxes identiques pour différents processus qui nécessitent les mêmes données.

- Régularité dans les possibilités d'un processus : il n'y a pas d'exceptions dans les opérations possibles du processus.

La documentation d'un processus fait partie intégrante de celui-ci et doit être élaborée en même temps que lui. C'est la documentation qui permet à l'utilisateur de comprendre la fonction du processus et son utilisation.[19]

3.4.5. Mise en œuvre

Corps de l'œuvre

Concept de processus élémentaire

Il existe deux types de processus élémentaires : les opérateurs et les directives. Les informations sont désignées par le terme d'objets.

- Les utilisateurs attribuent des noms aux OBJETS. Ces objets sont typés, ce qui permet aux opérateurs de manipuler et de valider la syntaxe des données.

- Les OPÉRATEURS ont des noms. Ils créent un ou plusieurs objets, avec des noms choisis par l'utilisateur. La seule condition pour qu'un opérateur fonctionne est l'existence de l'information au moment de son utilisation. L'utilisation d'un opérateur s'écrit comme suit :

{nom du/des résultat(s)} = {nom de l'opérateur} {nom de l'information} ;

Le point-virgule indique la fin de l'instruction élémentaire.

- Les DIRECTIVES modifient un ou plusieurs objets existants ou produisent une sortie sur une unité logique (écran, imprimante, etc.). Elles ne créent pas de nouveaux objets.

Il n'y a pas de distinction entre les opérateurs ou directives de prétraitement, de calcul et de post-traitement, de sorte qu'ils peuvent être utilisés à n'importe quel endroit du programme en fonction des exigences du problème. Langage GIBIANE Afin de convertir les noms d'objets en entités informatiques utilisables par le programme, une interface est nécessaire. Le langage GIBIANE permet à l'utilisateur de communiquer directement avec le programme.

Le développement de nouveaux opérateurs ou de nouveaux types d'objets dans Cast3M peut aider à résoudre de nouveaux problèmes. Le développement d'un nouvel opérateur est facilité par la nature orthogonale des opérateurs. Cependant, l'ajout de nouveaux types d'objets est moins courant car il nécessite non seulement d'ajouter de nouveaux opérateurs capables de traiter le nouveau type d'objet, mais aussi de modifier les opérateurs généraux existants conformément à la règle de régularité.

Certains problèmes nécessitent la répétition de certaines opérations élémentaires ou l'exécution conditionnelle d'opérations spécifiques. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'opérateurs tels que REPEAT, EXIT, IF, ELSE, ENDIF, ITER, etc. Les utilisateurs peuvent étendre les capacités du programme en fonction de leur type de problème spécifique.

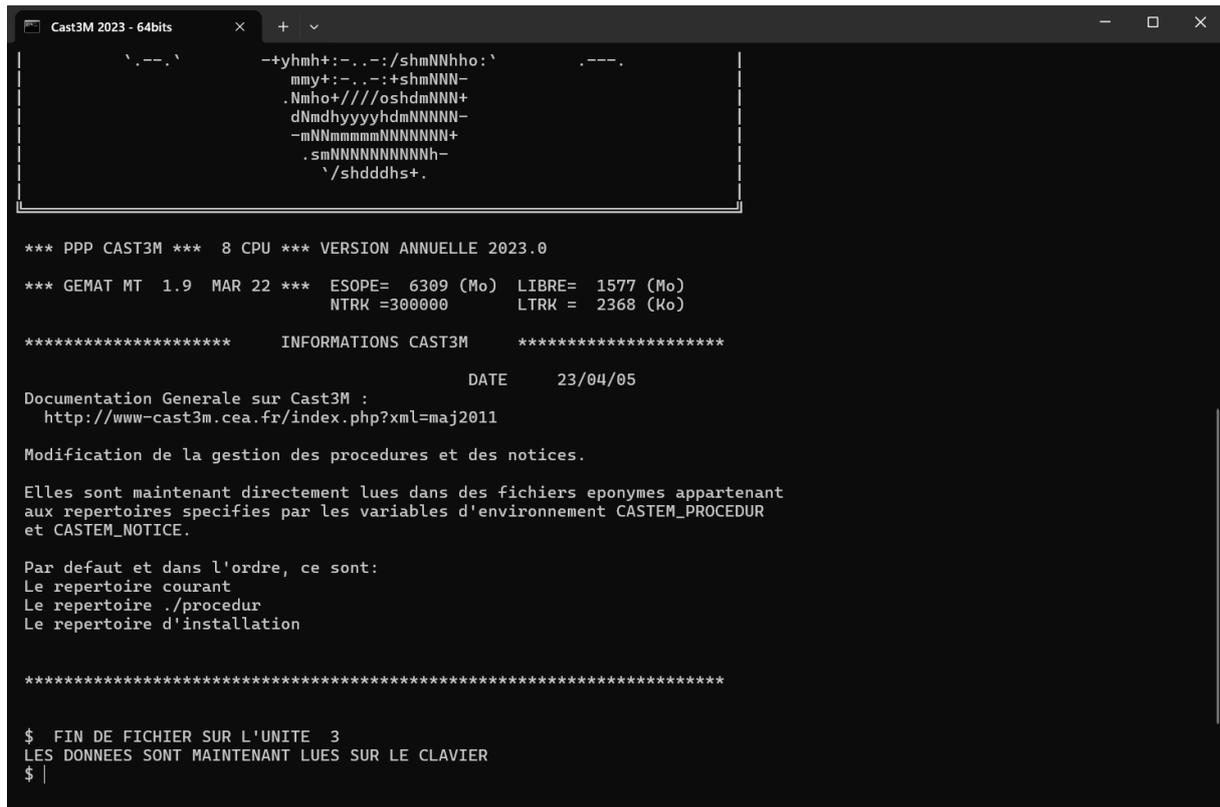
L'une des conséquences de l'architecture adoptée par Cast3M est la possibilité de créer des procédures, qui sont des méta-processus constitués d'un ensemble de processus élémentaires.

En adoptant une approche de boîte noire, les individus peuvent se familiariser avec la méthode des éléments finis. Pour les questions complexes telles que les calculs non linéaires, il n'est pas pratique d'attendre des utilisateurs qu'ils définissent explicitement un algorithme de résolution.

En revanche, les utilisateurs peuvent souhaiter développer de nouveaux opérateurs, modifier ou remplacer certains opérateurs en fonction de leurs besoins spécifiques.

Les procédures sont écrites dans un langage de données et possèdent les propriétés suivantes : elles peuvent être utilisées comme opérateurs de base, une procédure peut en appeler une autre et peut s'appeler elle-même, un opérateur ou une procédure existante peut être surchargé par une procédure, et la séquence des opérateurs de base au sein d'une procédure est entièrement visible. Grâce aux procédures, l'utilisateur peut programmer de façon autonome les processus nécessaires à la résolution de son problème. Il peut également écrire et tester rapidement de nouveaux algorithmes sans avoir besoin de modifier le logiciel. Inversement, les procédures permettent de rendre transparents des algorithmes et des méthodes complexes, tels que les algorithmes de calcul de la plasticité, les algorithmes de grands déplacements, les contacts unilatéraux, etc.[19]

3.4.6. Interface de cast3m



```
Cast3M 2023 - 64bits
`.-.-.`      -+yhmh+:-..-:/shmNNhho:`      .---.
mmy+:-..-:+shmNNN-
.Nmho/////oshdmNNN+
dNmDhyyyhdmNNNNN-
-mNNmmmmNNNNNNN+
.smNNNNNNNNNNh-
`shddhs+.

*** PPP CAST3M *** 8 CPU *** VERSION ANNUELLE 2023.0
*** GEMAT MT 1.9 MAR 22 *** ESOPE= 6309 (Mo) LIBRE= 1577 (Mo)
NTRK =300000 LTRK = 2368 (ko)

*****
INFORMATIONS CAST3M *****
DATE 23/04/05

Documentation Generale sur Cast3M :
http://www-cast3m.cea.fr/index.php?xml=maj2011

Modification de la gestion des procedures et des notices.

Elles sont maintenant directement lues dans des fichiers eponymes appartenant
aux repertoires specifies par Les variables d'environnement CASTEM_PROCEDUR
et CASTEM_NOTICE.

Par defaut et dans l'ordre, ce sont:
Le repertoire courant
Le repertoire ./procedur
Le repertoire d'installation

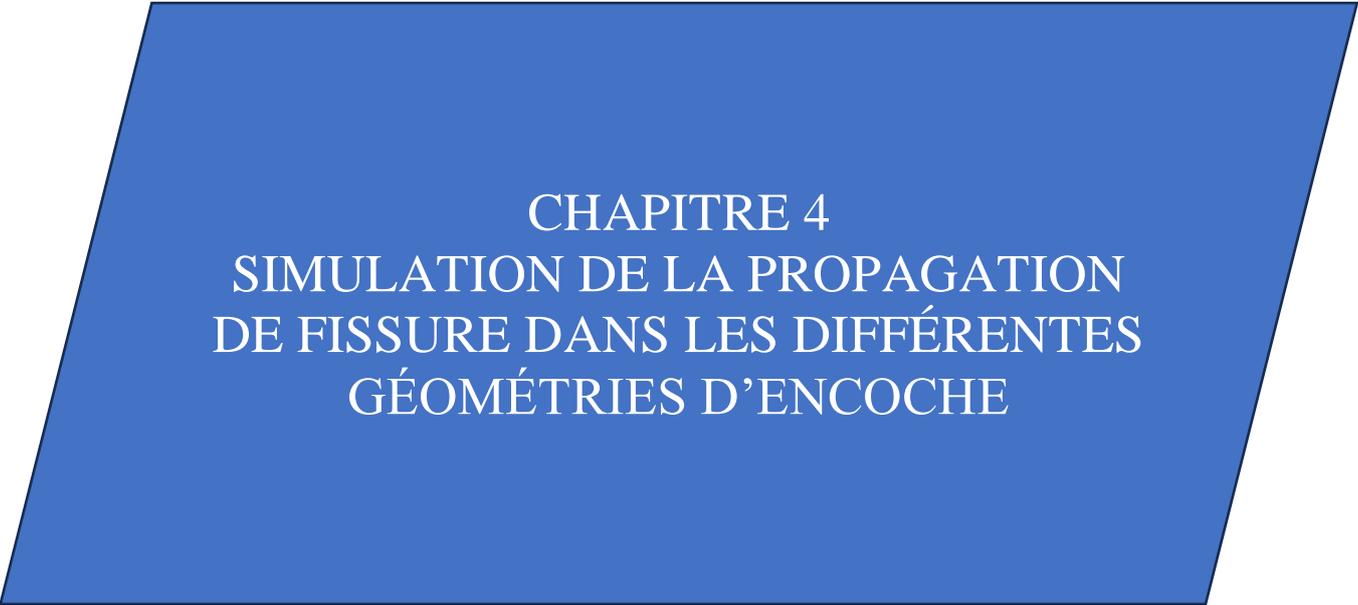
*****

$ FIN DE FICHER SUR L'UNITE 3
LES DONNEES SONT MAINTENANT LUES SUR LE CLAVIER
$ |
```

Figure 3-5 : interface de cast3m

Conclusion

Dans nos recherches, nous nous penchons sur les logiciels qui jouent un rôle crucial en permettant aux appareils de comprendre leurs tâches et de les exécuter efficacement. Sans logiciel, les ordinateurs deviennent complètement inertes, incapables de toute action. Par conséquent, ce chapitre vise à fournir une définition et une explication complètes du logiciel utilisé dans notre étude.



CHAPITRE 4
SIMULATION DE LA PROPAGATION
DE FISSURE DANS LES DIFFÉRENTES
GÉOMÉTRIES D'ENCOCHE

Chapitre 4 Simulation de la propagation de fissure dans les différentes géométries d'encoche

4.1.Introduction

Dans ce chapitre nous avons présenté la procédure de modélisation avec deux différents logiciels de simulation (FRANC2D et CAST3M) d'une plaque en forme rectangulaire en aluminium soumise à une charge de traction σ d'un côté et encastré de l'autre, avec différentes géométries d'encoche de bord avec une fissure de longueur a . module de Young E et un coefficient de poisson ν .

4.2.Modèle géométrique et mécanique de la simulation

Notre étude dans ce mémoire consiste à simuler une plaque d'aluminium chargée en traction avec 4 types d'entaille (entaille en V - entaille en cercle - entaille simple - entaille en S)

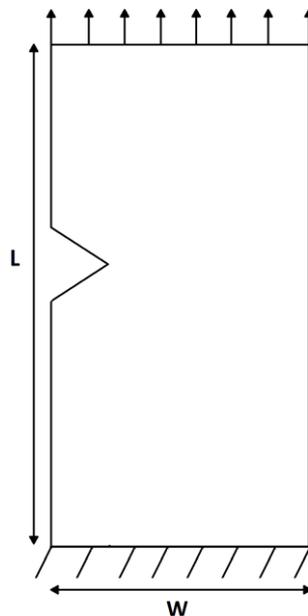


Figure 4-1 : Plaque rectangulaire en aluminium avec fissure

Les dimensions de notre modèle géométrique sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Dimensions de modèle géométrique

Longueur	Largeur	Épaisseur
L = 160mm	W = 90mm	e = 4mm

Nous avons utilisé pour la simulation une plaque en aluminium avec des propriétés mécaniques donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4-2 : Propriétés mécanique de matériau [20]

	Module de Young	Coefficient de Poisson	Limite élastique	Contrainte ultime finale	Densité
Symbol	E	ν	σ_y	σ_u	ρ
Valeur	72	0.33	125	257	2650
Unité	GPa		MPa	MPa	kg/m^3

La courbe de traction est donnée dans la figure suivante :

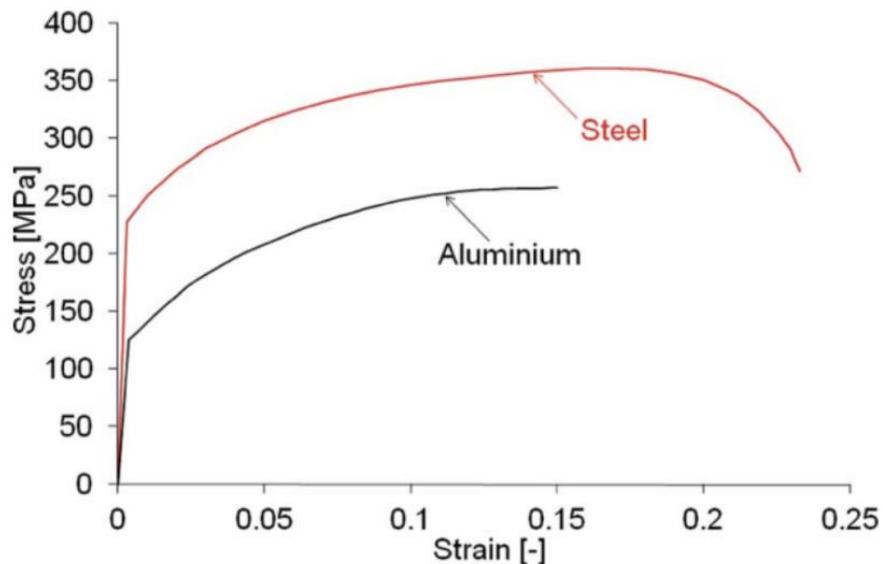
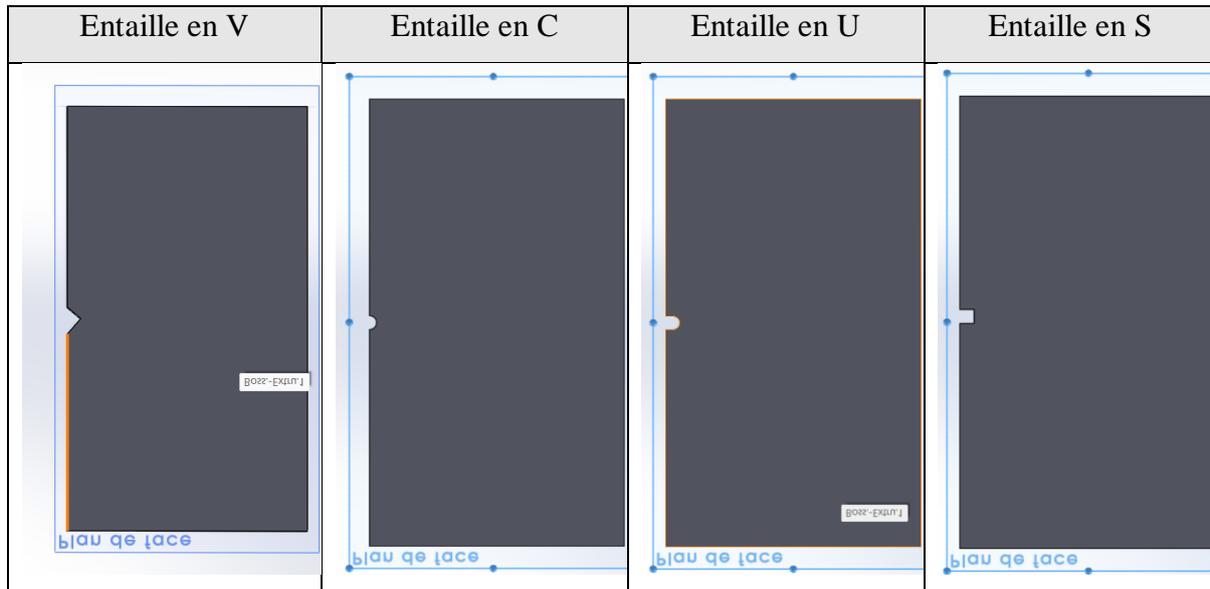


Figure 4-2 : Courbes contrainte-déformation de l'aluminium et de l'acier [20]

Les entailles utilisées sont comme suit :

Tableau 4-3 : simulation de différents types d'entaille à l'aide de logiciel SolidWorks



Les formes des entailles utilisées sont comme suit :

- **Géométrie de l'entaille en V :**

- Profondeur de l'entaille : $a = 5\text{mm}$
- Largeur de l'entaille : $b = 5\text{mm}$

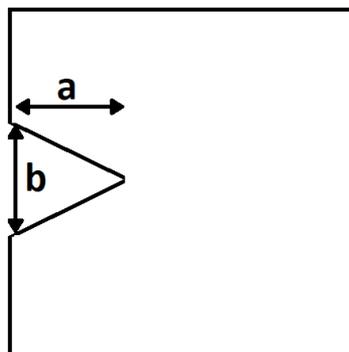


Figure 4-3 : Dimensions de l'entaille en V

- **Géométrie de l'entaille en C :**

- Profondeur de l'entaille : $a = 5\text{mm}$
- Largeur de l'entaille : $b = 10\text{mm}$

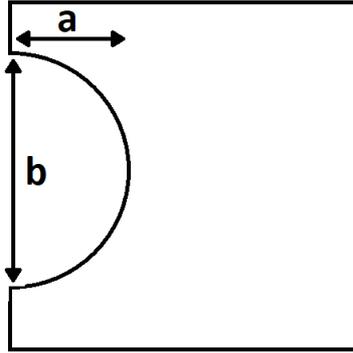


Figure 4-4 : Dimensions de l'entaille en C

- **Géométrie de l'entaille en U :**

- Profondeur de l'entaille : $a = 5\text{mm}$
- Rayon de cercle : $R = a = 5\text{mm}$
- Largeur de l'entaille : $b = 2*a = 10\text{mm}$

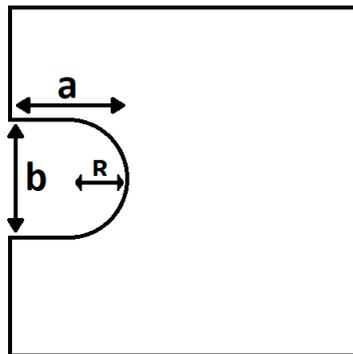


Figure 4-5 : Dimensions de l'entaille en U

- **Géométrie de l'entaille en S :**

- Profondeur de l'entaille : $a = 5\text{mm}$
- Largeur de l'entaille : $b = 5\text{mm}$

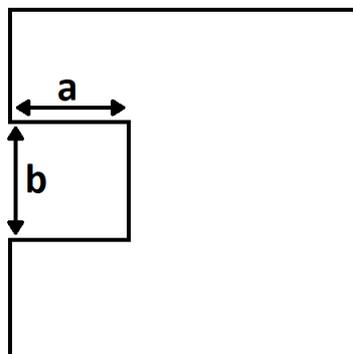


Figure 4-6 : Dimensions de l'entaille en S

Les parties suivantes sont consacrées à la simulation une plaque rectangulaire en aluminium soumise à une charge de traction σ d'un côté et encastré de l'autre contenant une entaille de bord en V (Les mêmes étapes se répètent pour les autres géométries) avec une fissure de longueur à l'aide de différents logiciels.

4.3.CASCA

4.3.1. Préparation et réglage du logiciel CASCA

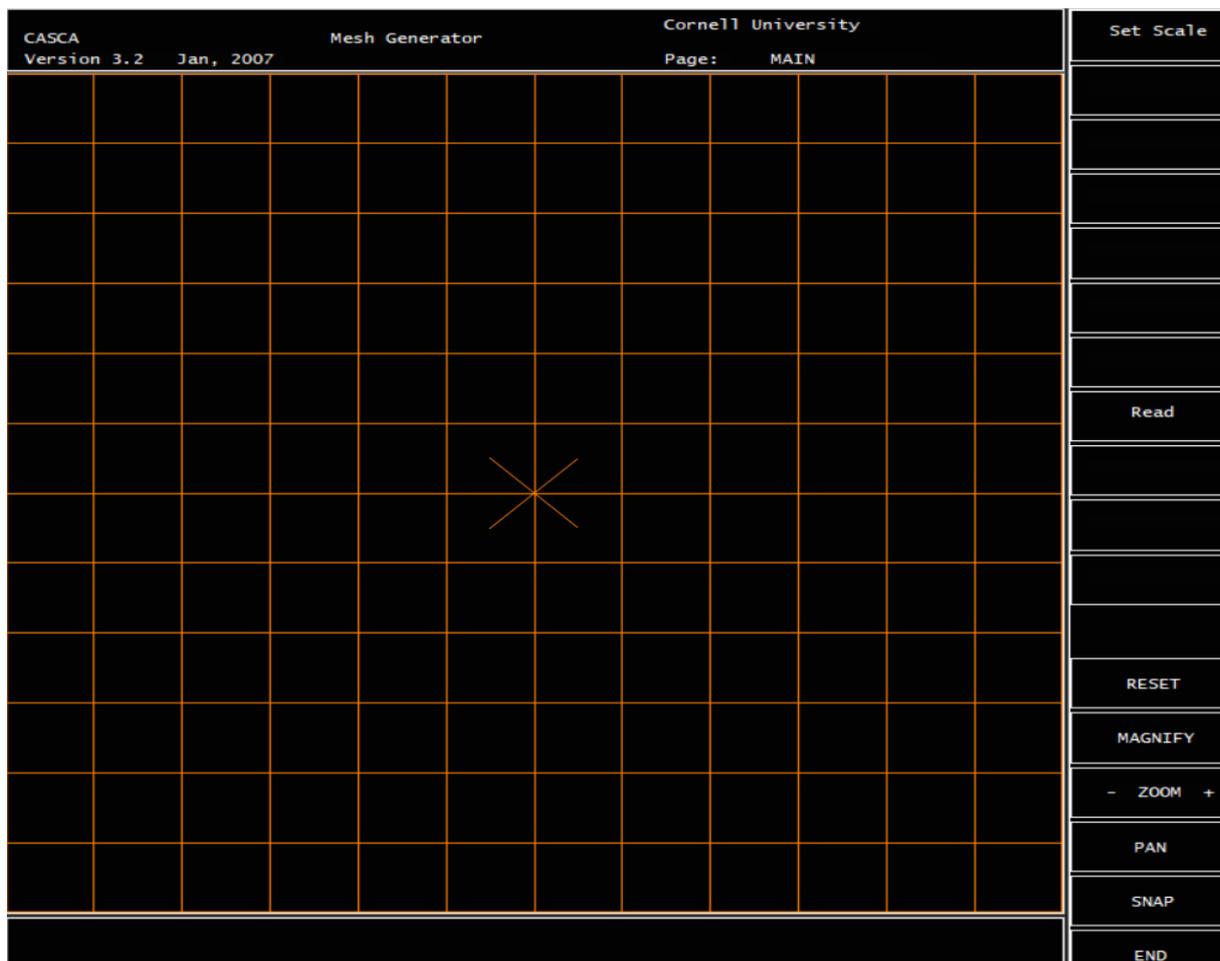


Figure 4-7 : interface de CASCA



Figure 4-8 : réglage d'affichage



Figure 4-9 : définir l'échelle



Figure 4-10 : insertion des coordonnées

4.3.2. Dessin de la pièce avec la fissure (V) par le logiciel CASCA

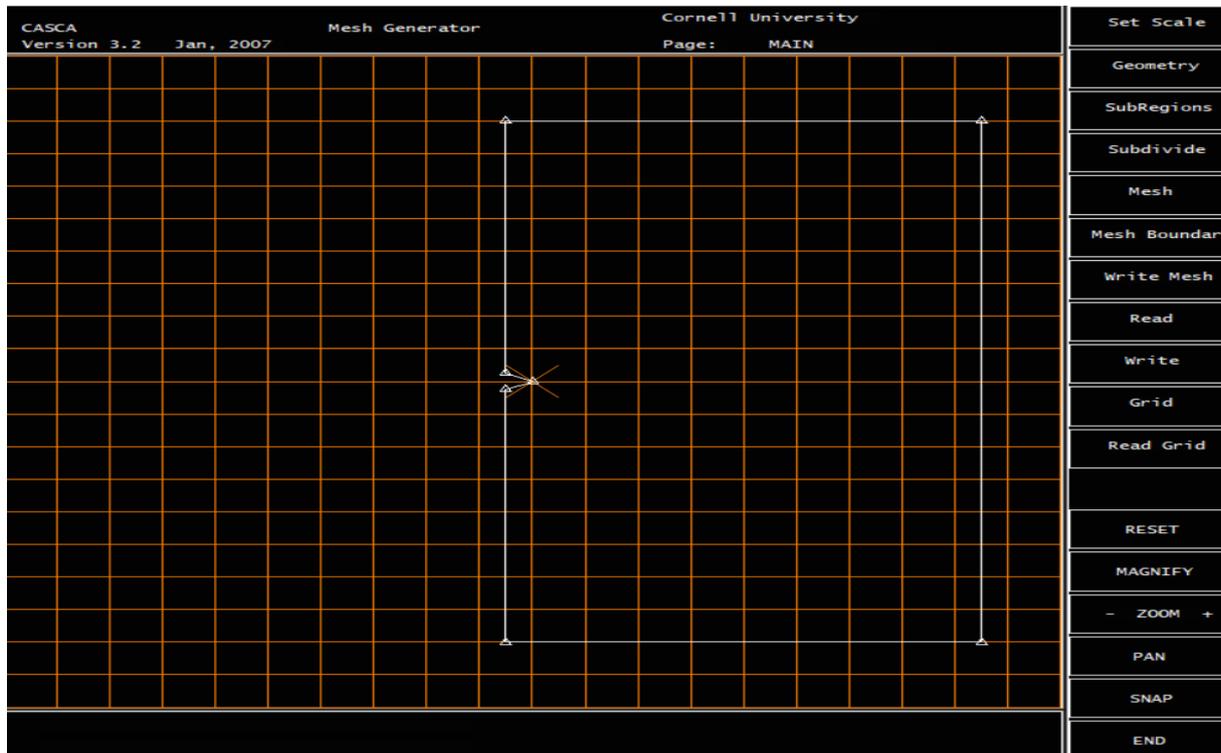


Figure 4-11 : dessiner la pièce

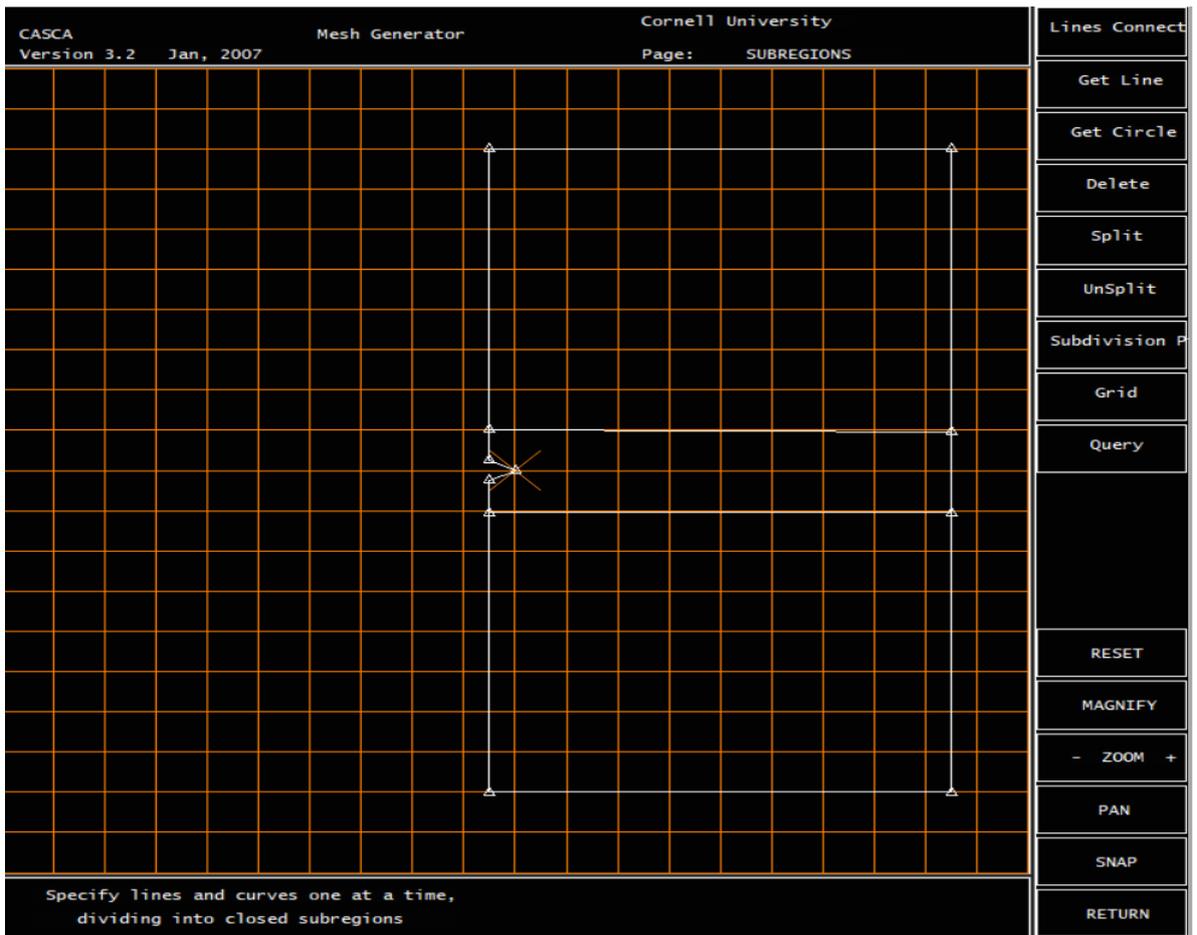


Figure 4-12 : définir les sous-régions

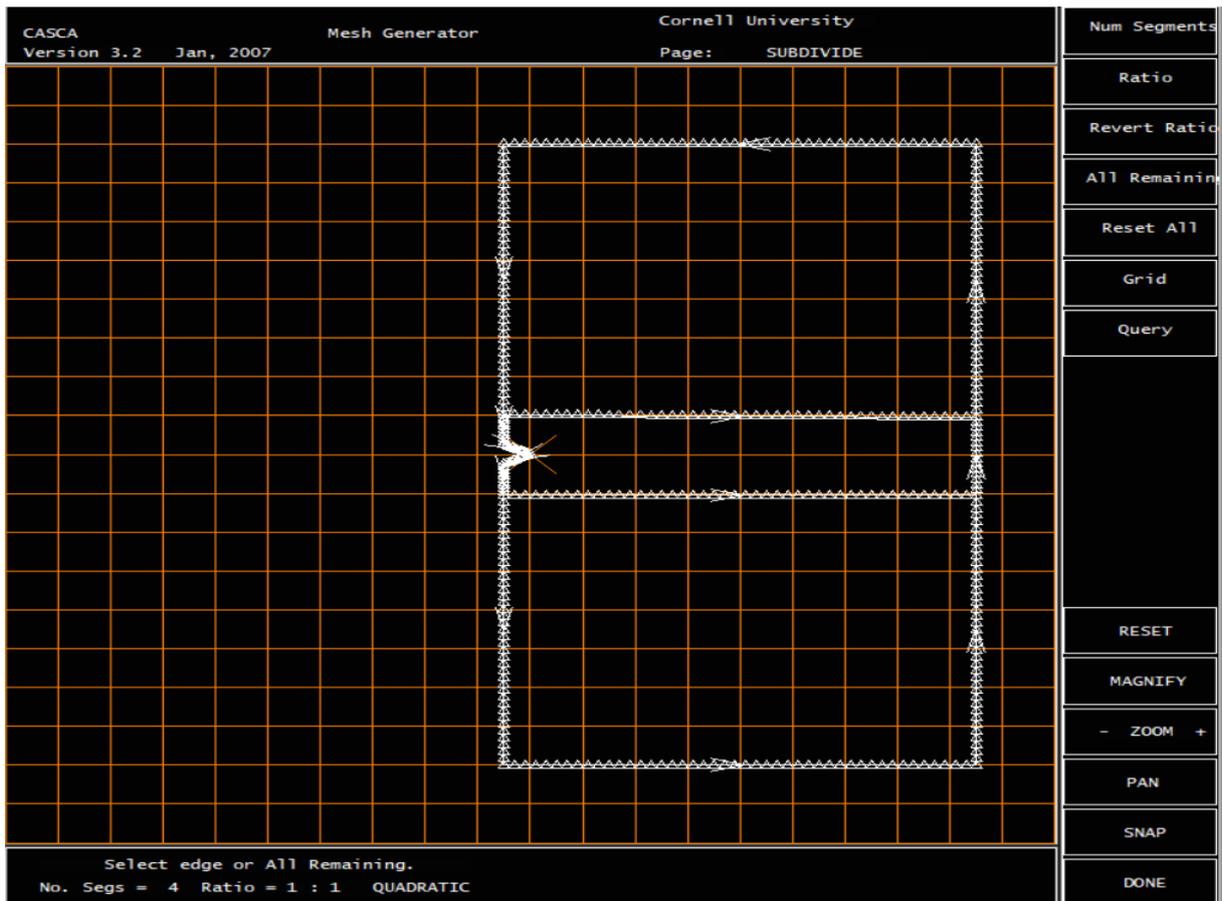


Figure 4-13 : application de la densité

4.3.3. Le maillage de la pièce avec fissure (V) par le logiciel CASCA

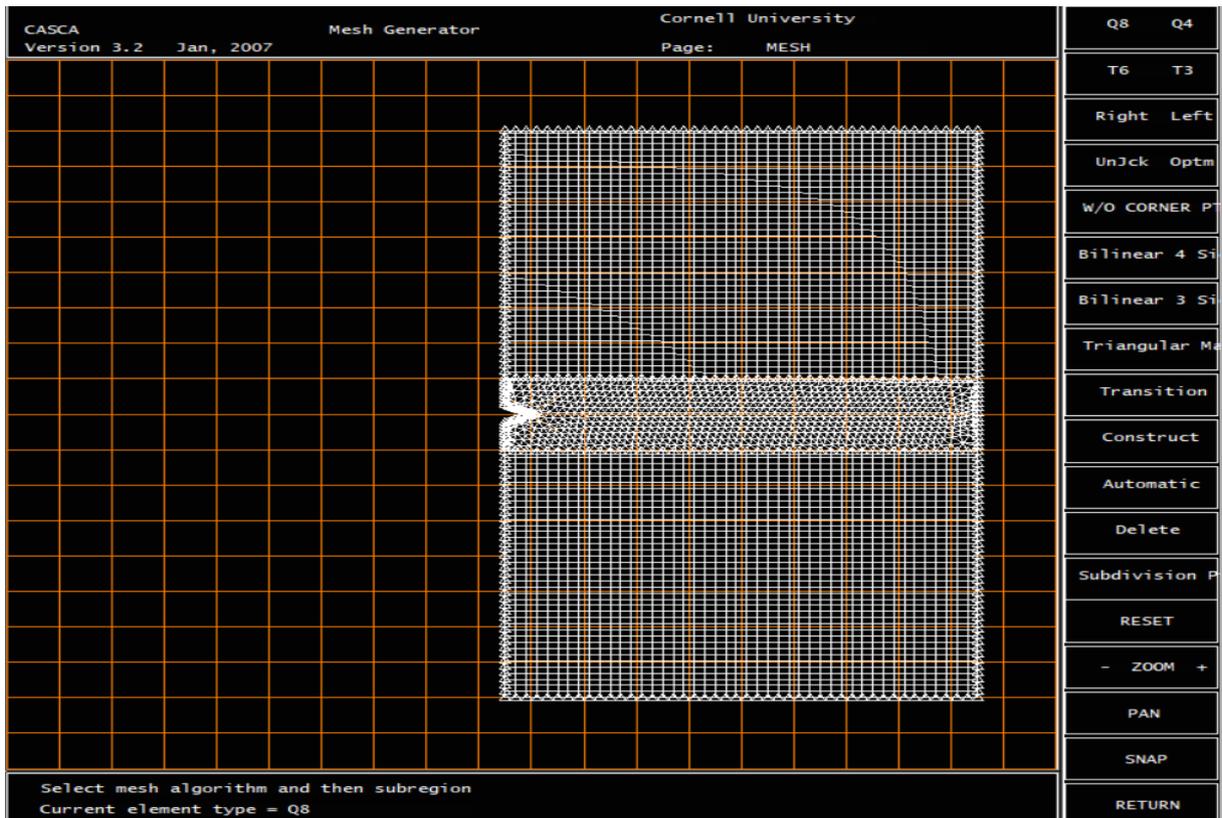


Figure 4-14 : applique le maillage sur la pièce

Dans les images précédant ont vu linter face de logiciel casca et on choisir les démontions de la carre puis on dessin la pièce et la fissure V dans le Botton géométrie puis get line.

En suit en divise la pièce a 3 zones dans subregions pour devise le maillage nécessaire dans subdivide et l'enregistre dans write mesh a nom de V1.inp

4.4.Franc2d

4.4.1. Ouverture de fichier (V1. Inp)

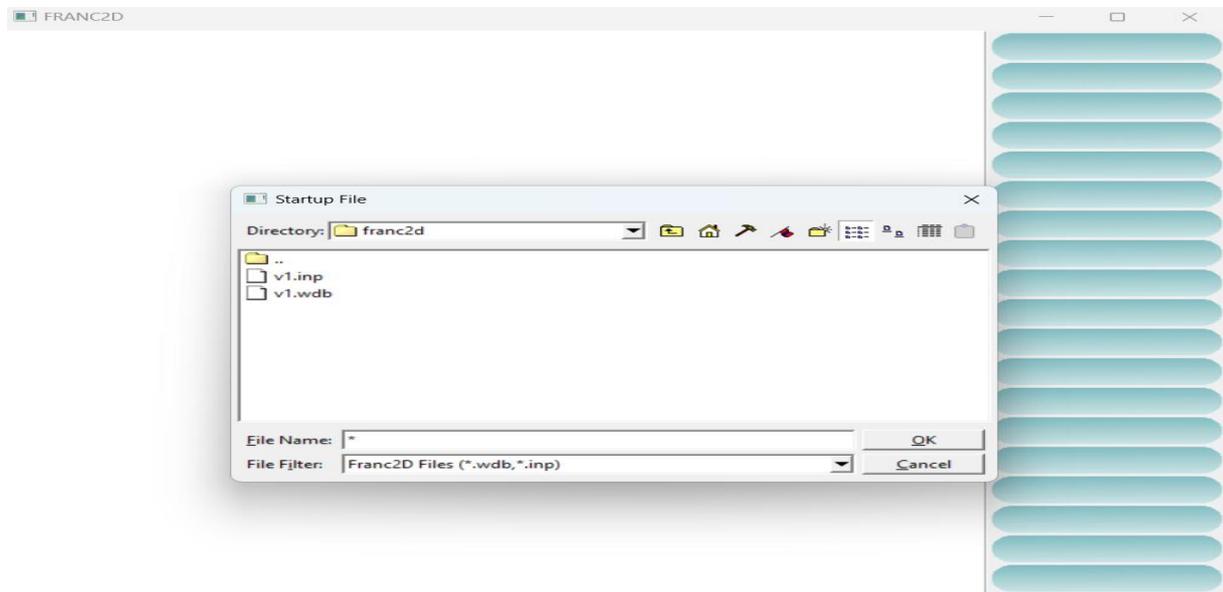


Figure 4-15 : le fichier de casca pour ouvrir dans franc2d

Et maintenant on utilise le dernier fichier du casca pour ouvrir dans franc2d et continuer le travail

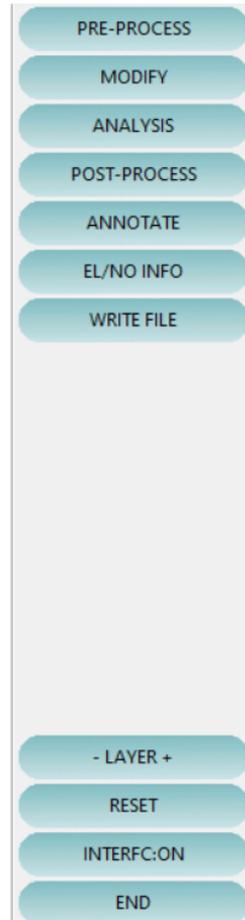
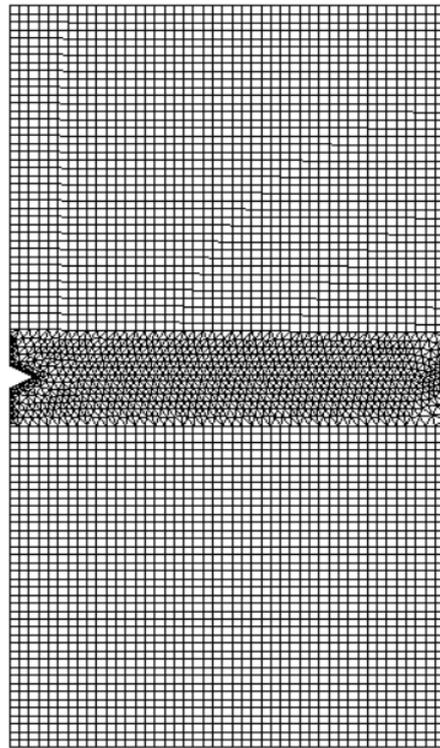


Figure 4-16 : la pièce dans franc2d

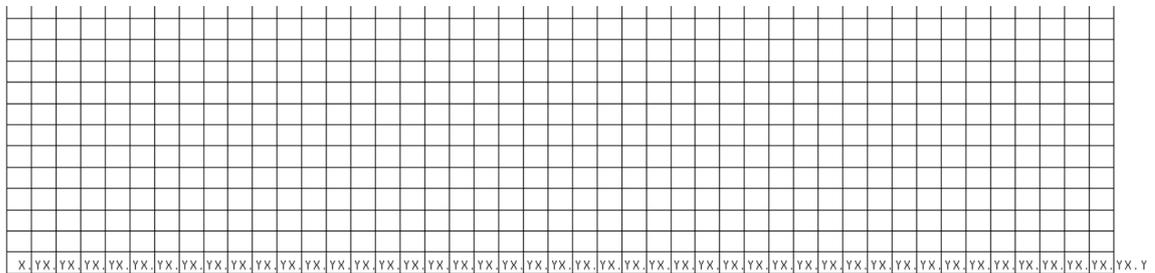


Figure 4-17 : fixation de la pièce selon x et y

Materials

Mat Number:

Material Type:

Young's Modulus:

Poisson ratio:

Thickness:

KIc:

Density:

Coeff. of Thermal Expansion:

Figure 4-18 : insertion de propriété du matière

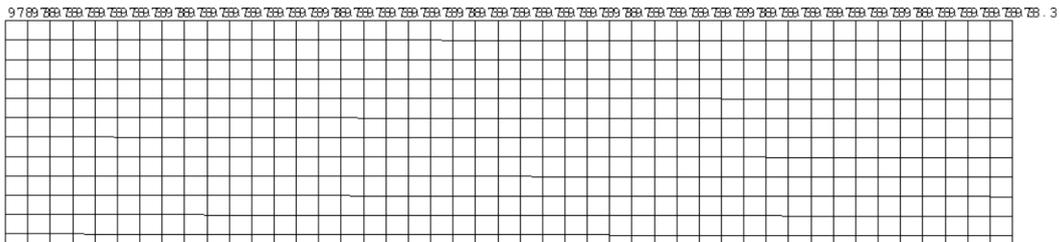


Figure 4-19 : application de la force (charge N)

On a appliqué la charge sur 46 points sur Y :

$$\delta_Y = 125 \text{ MPa} = 125 \text{ N/mm}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 125 \rightarrow 1 \text{ mm}^2 \\ F \rightarrow 360 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$$

$$F = 360 * 125 = 45000 \text{ N}$$

$$F = 360 * 125 = 45000 \text{ N}$$

$$F_0 = F/46 = 978.26 \text{ N}$$

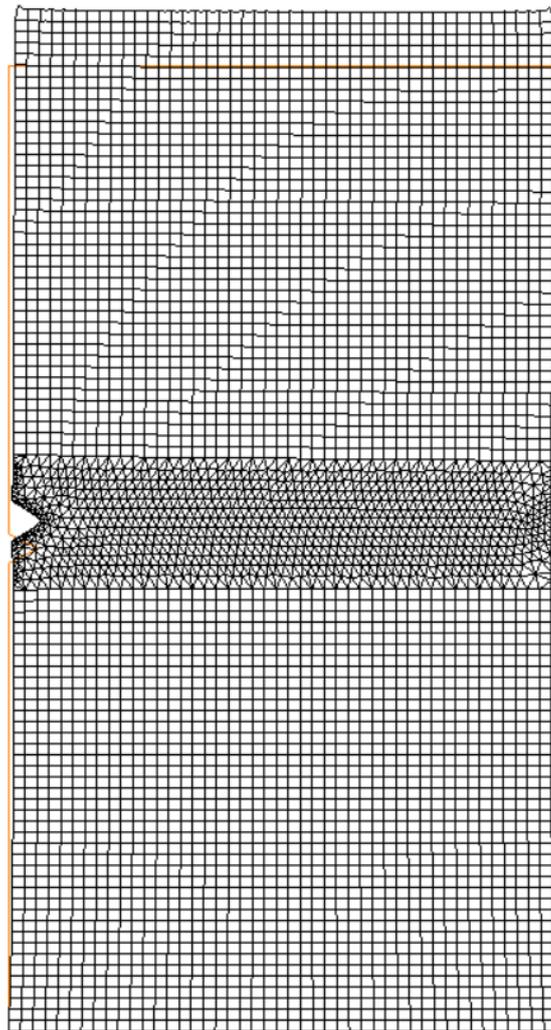


Figure 4-20 : la pièce après l'application de force

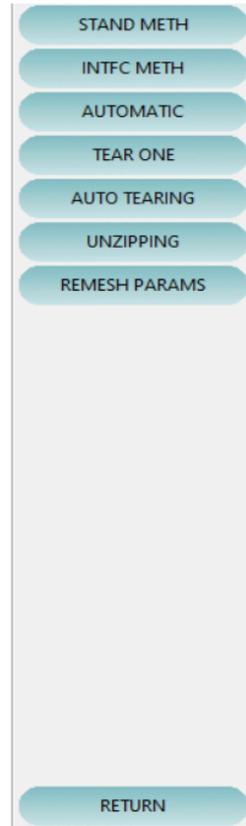
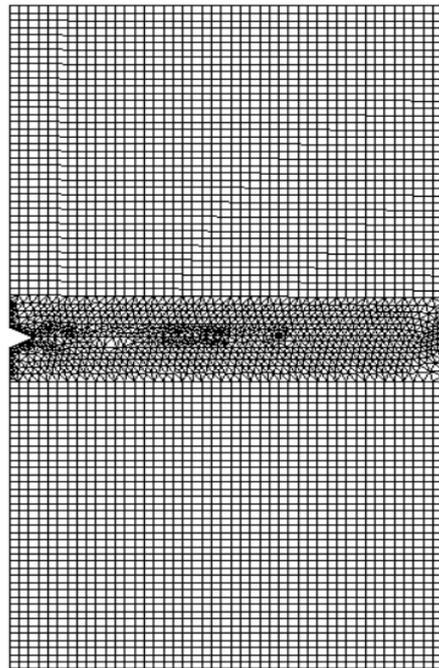


Figure 4-21 : la piece apres la nouvelle fissure

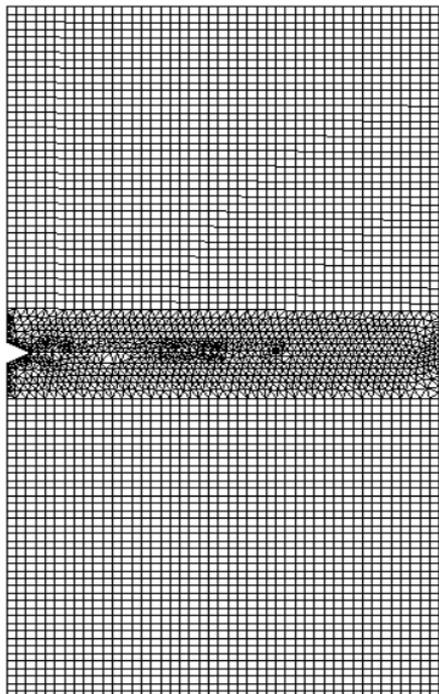


Figure 4-22 : ajoute le contour

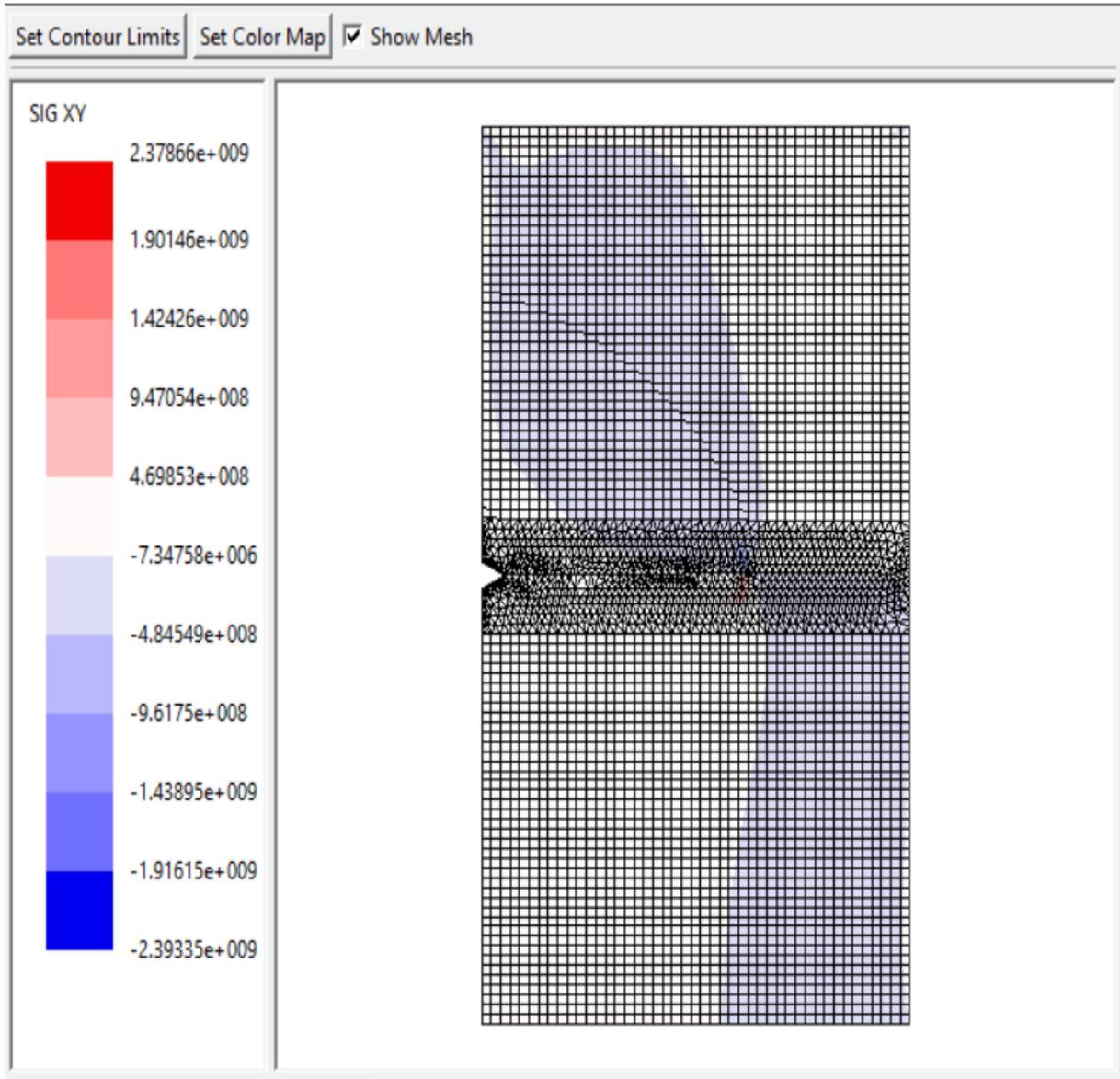


Figure 4-23 : SIG XY

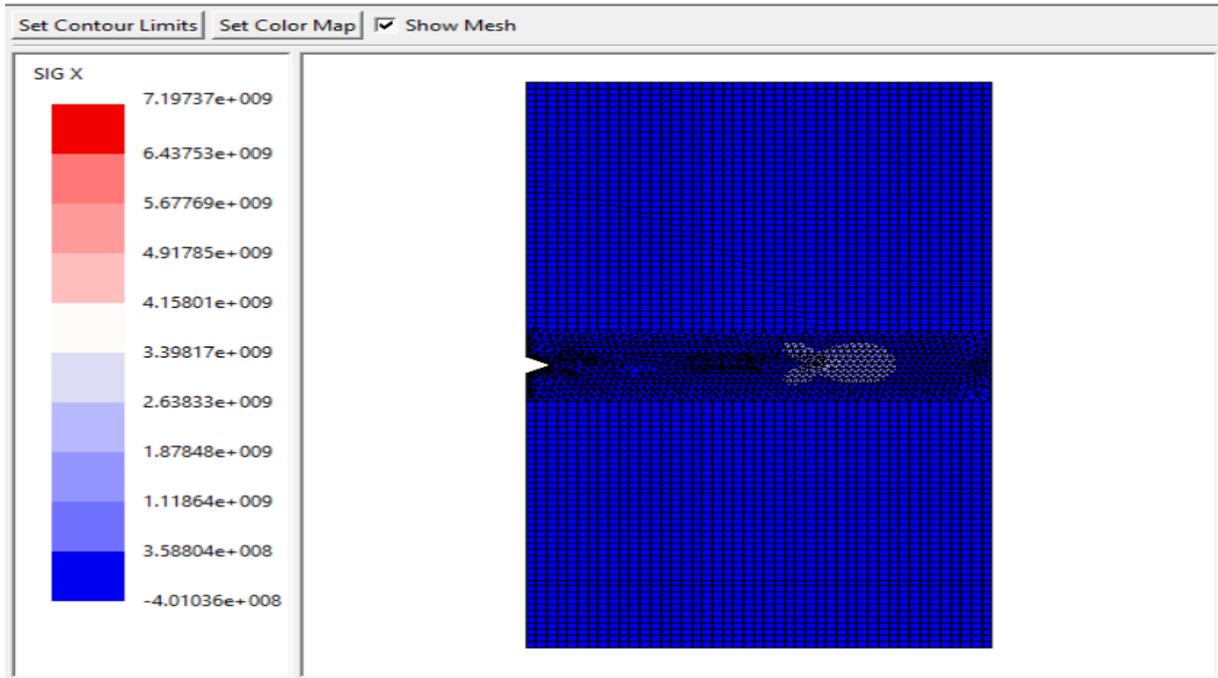


Figure 4-24 : SIG X

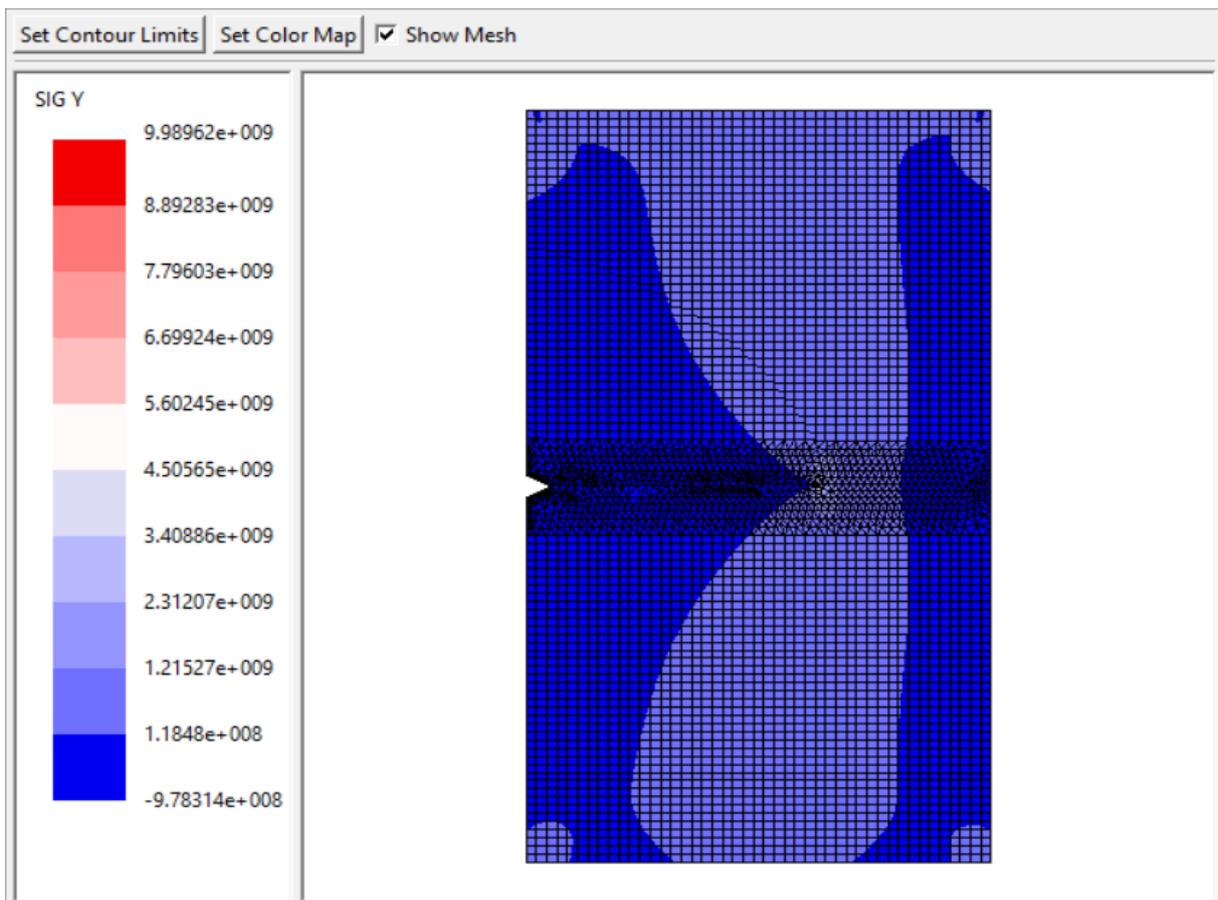


Figure 4-25 : SIG Y

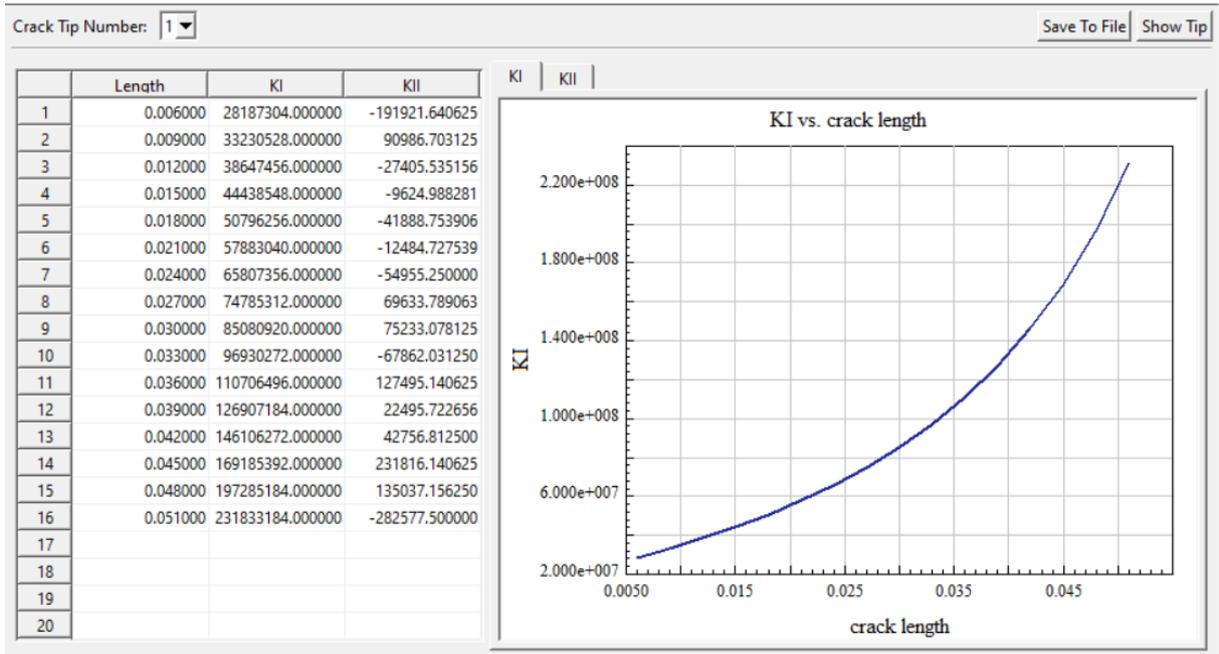


Figure 4-26 : Sif history

4.5.Simulation avec CAST3M

Cette partie est consacrée à la simulation de l'exemple qu'on a fait dans la partie précédente à l'aide du logiciel **CAST3M**. Une plaque rectangulaire en aluminium soumise à une charge de traction σ d'un côté et encastré de l'autre contenant une entaille de bord en **V** avec une fissure de longueur a . module de Young E et un coefficient de poisson ν .

4.5.1. Modélisation avec CAST3M

Prenons l'exemple qu'on a fait dans la partie précédente (Entaille en **V**) :

- **Initialisation et Paramètres Généraux :**

```
*  
OPTI DIME 2 ELEM TRI3 MODE PLAN CONT ;  
TITRE 'EPROVETTE A ENTAILLE EN V' ;  
*  
*DENSITE DES MAILLAGES :  
*  
DE0=1. ;  
DENS DE0 ;  
DE1=1. ;  
DE2= (20.*DE1) ;  
...
```

OPTI DIME 2 : Définit le problème en 2D.

ELEM TRI3 : Utilise des éléments triangulaires à 3 nœuds.

MODE PLAN : Indique que le problème est plan (déformations planes).

TITRE : Donne un titre à la simulation ("Éprouvette à entaille en V").

DE0, DE1, DE2 : Définissent des densités pour le maillage, influençant la taille des éléments finis.

- **Définir les coordonnées des points :**

Pour commencer, nous devons définir les coordonnées des points de la plaque :

```

...
*
* POINTS :
*
P1=-5. -80. ;
P2=85. -80. ;
P3=85. 80. ;
P4=-5. 80. ;
P5=-5. 2.5 ;
P0=0. 0.;
P6=-5. -2.5 ;
...

```

• **Créer les lignes entre les points :**

Nous devons définir les lignes qui connectent ces points pour former le contour de la plaque.

On utilise la commande **D** ou **DROI** pour cela.

```

...
*
* LIGNES :
*
L1=P1 D P2 ;
L2=P2 D P3 ;
L3=P3 D P4 ;
L4=P4 D P5 ;
L5=P5 D P0 ;
L6=P0 D P6 ;
L7=P6 D P1 ;
*
*CONTOUR DE L'EPROUVETTE :
*
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6 ET L7;
TRAC CONT1;
...

```

CONT1 : Définit le contour de l'éprouvette en reliant les lignes.

TRAC CONT1 : Trace le contour défini.

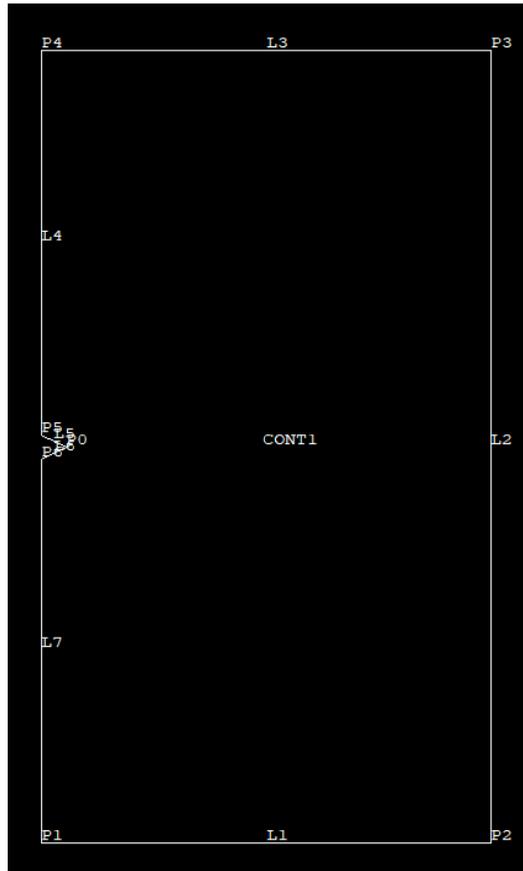


Figure 4-27: Contour de l'éprouvette

• **Création de la Surface :**

```
...  
*  
*SURFACE DE L' EPROUVETTE :  
*  
S1=SURF PLAN CONT1 ;  
TRAC S1 ;  
...
```

S1 : Crée une surface plane à partir du contour.

TRAC S1 : Trace la surface définie.

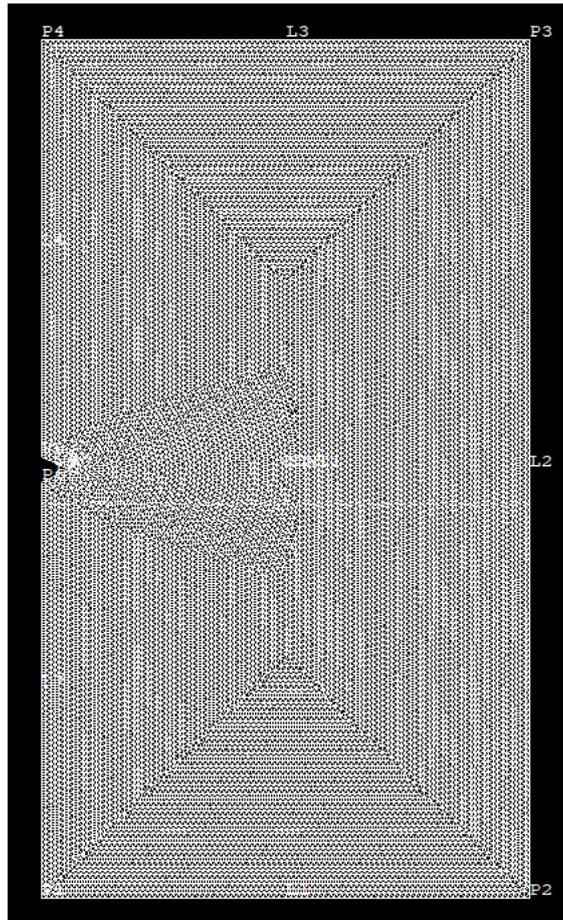


Figure 4-28 : Maillage de la surface S1

• **Conditions aux limites :**

Bloquer les déplacements (conditions aux limites) sur la ligne L1.

```

...
*
* CONDITIONS AUX LIMITES :
*
CLS1 = BLOQ DEPL L1;
...

```

• **Propriétés mécanique :**

```

*
* MODELE MECANIQUE :
*
MO =MODE S1 MECANIQUE ELASTIQUE ;
*
* MATERIAU :
*
MA =MATE MO YOUN (72.e9) NU (0.33) RHO(2650) ;
*
* FORCE :

```

```

*
F1 = FORC (0. 45000.) L3;
*
* RIGIDITE :
*
RIG1 = RIGI MO MA;
*
* RESOLUTION :
*
UU = RESO (RIG1 ET CLS1) F1;

```

MA : Définit le matériau avec le module de Young (72 GPa), le coefficient de Poisson (0.33), et la densité (2650 kg/m³).

F1 : Applique une force de 45000 unités sur la ligne L3.

RIG1 : Calcule la matrice de rigidité pour le modèle et le matériau définis.

UU : Résout le système d'équations pour obtenir les déplacements sous l'effet de la force appliquée.

• **Traçage des Réactions et Forces Appliquées, Déformation et Contraintes:**

```

...
*
*TRACE DES REACTIONS ET FORCE APPLIQUEE :
*
VEC1=VECTEUR F1 FX FY ROUG ;
REA=REACT UU (RIG1 ET CLS1);
VEC2=VECTEUR REA FX FY BLEU;
TITR 'REACTIONS AUX APPUIS ET FORCE APPLIQUEE' ;
TRAC (VEC1 ET VEC2) S1;
*
* DEFORMEE :
*
DEFO = DEFO S1 UU 0. BLEU;
DEF1 = DEFO S1 UU ROUG;
TRAC (DEFO ET DEF1);
*
*CONSTRAINTES :
*
SIG1 = SIGM MO MA UU ;
TRAC SIG1 MO MA S1;
...

```

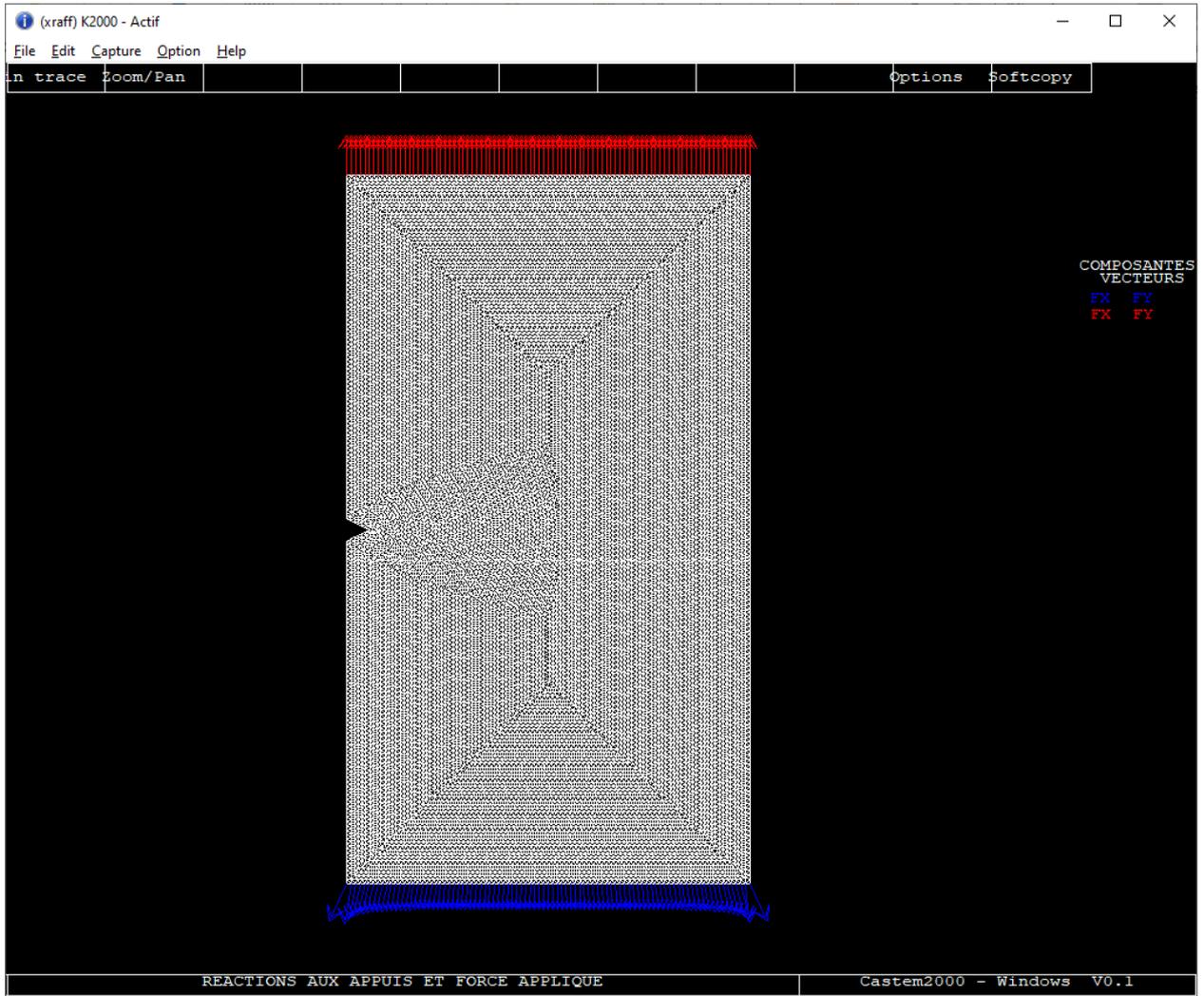


Figure 4-29 : Reactions aux appuis et force appliquée

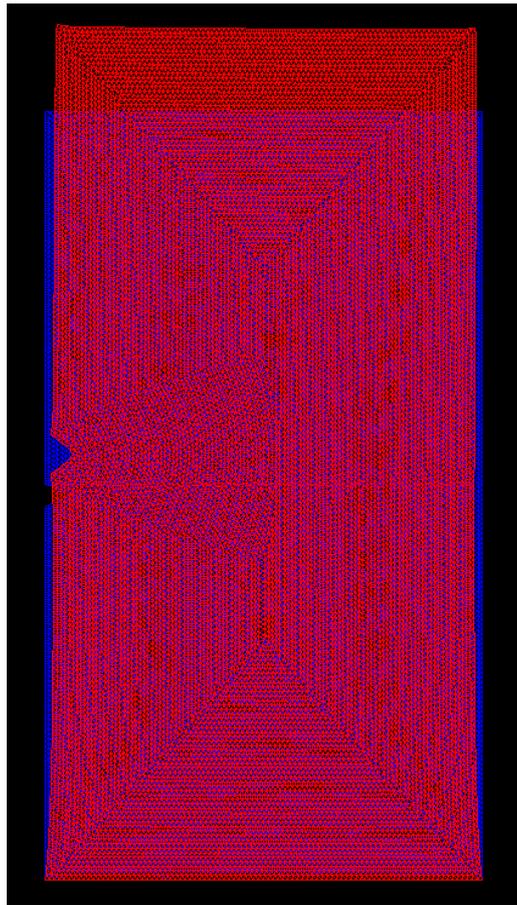


Figure 4-30 : Déformation de la surface

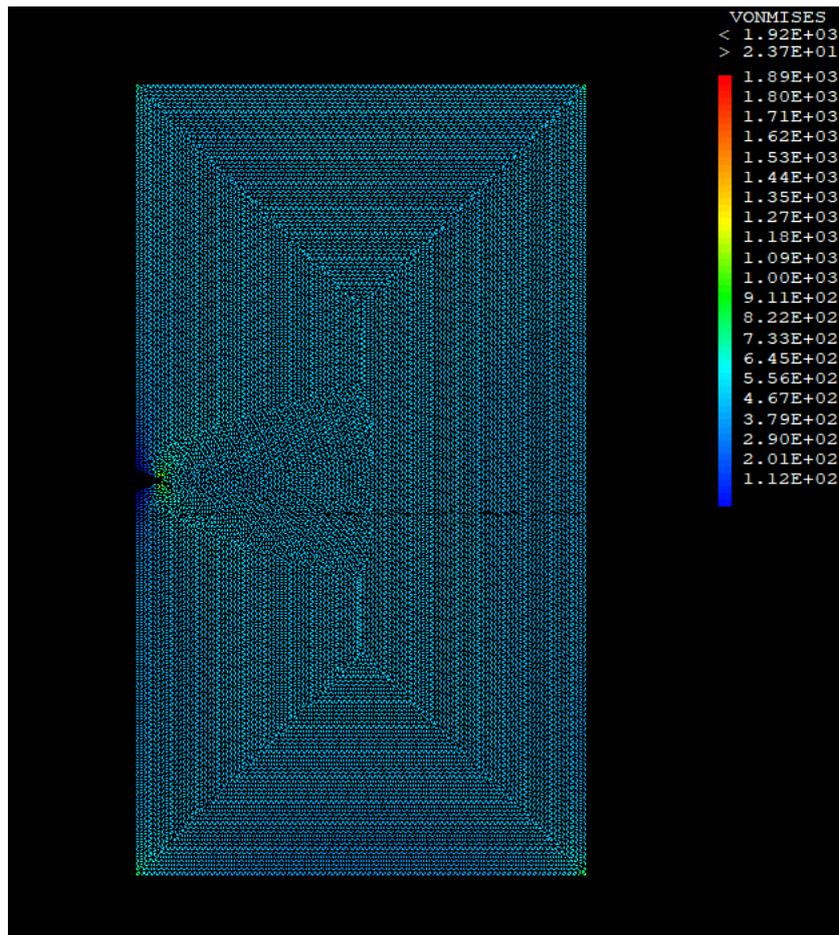


Figure 4-31 : Concentrations des contraintes

• **Calcul du Facteur d'Intensité des Contraintes (SIF):**

```
*CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES
*APPEL DE LA PROCEDURE SIF :
*
t1 = TABL;
t1.'FRTFISS' = P0;
t1.'LEVRE_1' = L5;
t1.'MODMIXTE' = VRAI;
t1.'LEVRE_2' = L5;
SIF MA UU t1;
K1sif = t1. 'K1';

*
L13=P2 D P7 ;
UUX = EXCO UU UX UX ;
UUX = REDU UUX L13 ;
EV1 = EVOL (ROUGE) CHPO UUX UX L13 ;
DESS EV1 ;
*
FIN ;
*
```

4.5.2. Propagation de la fissure

Contrairement à **FRANC2D**, la propagation doit être effectuée manuellement. À chaque fois, nous prolongerons la fissure de 3 mm .

Si nous voulons déplacer la fissure de 3 mm, le point P0(0, 0) devient P0(3, 0). Pour la déplacer de 6 mm, il devient P0(6, 0) et ainsi de suite.

- Pour le cas d'une propagation de 3 mm :

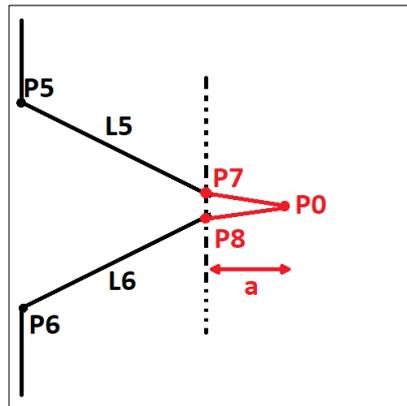


Figure 4-32 : Propagation de la fissure

- Changement de points et lignes :

P0 devient `P0 = 3. 0. ;`

L5 devient `L5 = P5 D P7 ;`

L6 devient `L6 = P8 D P6 ;`

- Ajouter les points :

```
P7 = 3 . 0 . ;
```

```
P8 = 3 . 0 . ;
```

- Ajouter les lignes :

```
L8 = P7 D P0 ;
```

```
L9 = P0 D P8 ;
```

- Modifier le contour :

```
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6 ET L7 ET L8 ET L9;
```

- Changement des lèvres de la fissure : Remplacer L5 par L8 :

```
t1.'LEVRE_1' = L8;
```

```
t1.'LEVRE_2' = L8;
```

En exécutant le programme, on voit ça comme résultat pour une propagation de 3mm :

```
VALEUR MOYENNE : K1MOY = 2.72120E+03
```

La valeur est affichée en $Pa\sqrt{mm}$. Pour passer a $MPa\sqrt{m}$ il est nécessaire de la multiplier par un facteur de conversion pré-calculé de 0.0316

Pour les autres longueurs de fissure, il suffit de mettre à jour les coordonnées de P0 en conséquence.

Exemple :

Pour $a = 6\text{mm}$: $P0 = 6. 0. ;$

Pour $a = 9\text{mm}$: $P0 = 9. 0. ;$

Pour $a = 12\text{mm}$: $P0 = 12. 0. ;$

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté toutes les étapes de modélisation avec les 2 logiciel FRANC2D et CAST3M d'une plaque rectangulaire en aluminium avec différentes géométries d'encoche de bord (on a pris le cas d'entaille en V)

Chapitre 5

Principaux résultats de la simulation avec
étude de l'influence des différentes
géométries d'encoche de bord sur la ténacité

Chapitre 5 Principaux résultats de la simulation avec étude de l'influence des différentes géométries d'encoche de bord sur la ténacité

5.1.Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les différents résultats obtenus par la simulation d'une plaque d'aluminium. Ces résultats sont partagés en deux parties :

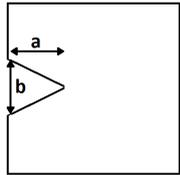
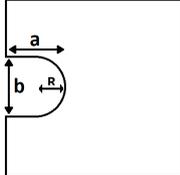
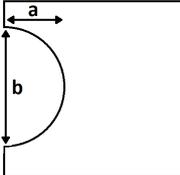
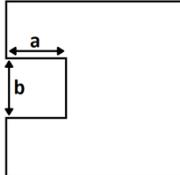
- 1/ Résultats de la simulation avec **FRANC2D** pour la détermination de facteur d'intensité de contrainte pour différentes géométries avec entaille en **V**, entaille en **C** (circulaire), entaille en **U** et entaille en **S** (simple)
- 2/ Résultats de la simulation avec **CAST3M** pour la détermination de facteur d'intensité de contrainte pour différentes géométries avec entaille en **V**, entaille en **C** (circulaire), entaille en **U** et entaille en **S** (simple)
- 3/ Résultats de calcul théorique pour la détermination de facteur d'intensité théorique pour différentes encoches de bord (entaille) avec fissure.

5.2.Résultats de logiciel FRANC2D

5.2.1. Rappel :

Une plaque d'aluminium soumise à une charge de traction d'un coté et encastrée de l'autre, avec différentes encoches de bord avec fissure (ou entailles) (en V, circulaire (C), simple (S) et en U).

Tableau 5-1 : les 4 différentes géométries d'entailles

Type	Schéma	Type	Schéma
En V		En U	
En C		En S	

5.2.2. Résultats après propagation de la fissure

La simulation effectuée par **FRANC2D** concernant la propagation de fissure (cas d'entaille en V) nous présente les résultats suivants :

Tableau 5-2 : Valeurs de K_I obtenues par FRANC2D pour différentes longueurs de fissure

a (mm)	K_I (MPa.m ^{1/2})
3	23,15
6	28,195
9	33,25
12	38,64
15	44,43
18	50,8
21	57,86
24	65,81
27	74,78
30	85,08
33	96,93
36	110,7
39	126,91
42	146,1
45	169,18
48	197,28

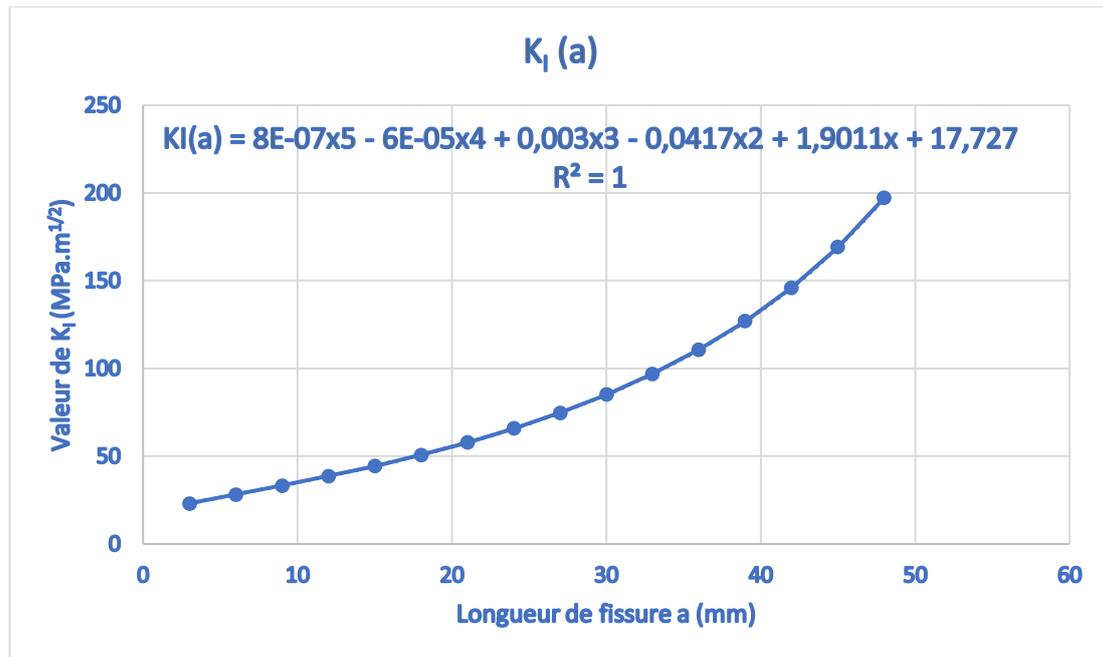


Figure 5-1 : Courbe de K_I obtenues par FRANC2D en fonction de a pour l'entaille en V

La figure 36 représente l'influence de la taille de fissure sur le facteur d'intensité de contraintes en mode 1. Celle-ci montre clairement que l'intensité de ce facteur croît avec l'accroissement de la taille de fissure, une fissure plus longue engendre un facteur d'intensité de contraintes plus significative.

5.2.3. Calcul de facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC}

Pour calculer le facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC} , on va utiliser l'équation de tendance de la courbe représentée sur la figure 5-1 à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

• **Ajouter une courbe de tendance :**

- Sélectionnez le graphique.
- Sélectionnez le signe + dans la partie supérieure droite du graphique.
- Sélectionnez Courbe de tendance > Autres options.
- Dans la boîte de dialogue Ajouter une courbe de tendance, sélectionnez les options de série de données souhaitées (Polynomiale d'ordre 5 dans notre cas)
- Sélectionner « Afficher l'équation sur le graphique » et « Afficher le coefficient de détermination R^2 sur le graphique » puis cliquez sur OK.

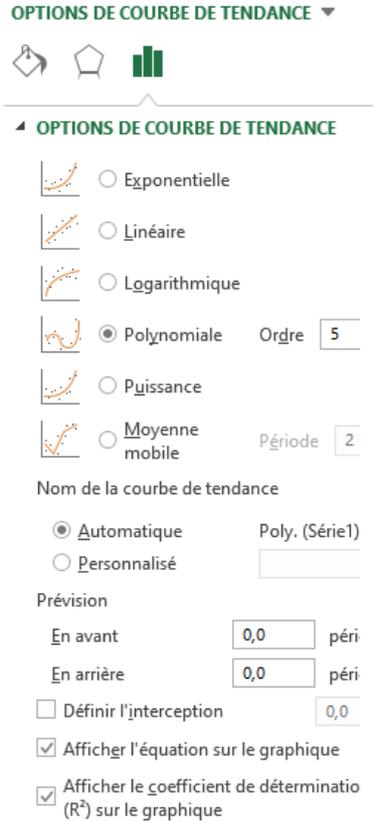


Figure 5-2 : Options de courbe de tendance

L'équation de tendance de la courbe $K_I(a)$ obtenue est polynomiale d'ordre 5 sous la forme :

$$K_I = A(a^5) + B(a^4) + C(a^3) + D(a^2) + E(a) + F \quad (5.1)$$

La longueur critique a_c est obtenue quand la valeur de seconde dérivée de K_I est égale 0 :

$$\frac{d^2 K_I}{da^2} = 0 \quad (5.2)$$

[21]

En résolvant l'équation précédente on trouve la longueur de fissure critique a_c .

lorsque la longueur de la fissure atteint sa valeur critique a_c , le facteur d'intensité de contrainte atteint également sa valeur critique K_{IC}

$$K_{IC} = A(a_c^5) + B(a_c^4) + C(a_c^3) + D(a_c^2) + E(a_c) + F \quad (5.3)$$

Les résultats des facteurs d'intensité de contraintes (K_{IC}) en fonction de la variation de la propagation de longueur de fissure de différentes géométries sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau 5-3 : Fonctions polynomiales des courbes des différentes géométries d'entaille et leurs dérivées secondes (FRANC2D)

Entaille		Équation
V	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 6 \times 10^{-5}a^4 + 0.003a^3 - 0.0417a^2 + 1.9011a + 17.727$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 72 \times 10^{-5}a^2 + 0.018a - 0.0834$
C	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0035a^3 - 0.051a^2 + 1.9682a + 17.729$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 84 \times 10^{-5}a^2 + 0.021a - 0.102$
U	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0031a^3 - 0.0437a^2 + 1.9192a + 17.679$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 72 \times 10^{-5}a^2 + 0.0186 a - 0.0874$
S	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0034a^3 - 0.0512a^2 + 1.9981a + 17.397$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 84 \times 10^{-5} a^2 + 0.0204 a - 0.1024$

Tableau 5-4 : Valeurs trouvées par FRANC2D des longueurs critiques et des facteurs d'intensité des contraintes critiques

Entaille	a_c (mm)	K_{IC} (MPa.m ^{1/2})
V	5.8	27.87
C	6.22	28.64
U	5.85	27.95
S	6.578	29.17

5.3. Résultats de logiciel CAST3M

La simulation effectuée par le logiciel **CAST3M** concernant la propagation de fissure (cas d'entaille en V) nous présente les résultats suivants :

Tableau 5-5 : Valeurs de K_I obtenues par CAST3M pour différentes longueurs de fissure

a (mm)	K_I (MPa.m ^{1/2})
3	85.9836
6	108.135
9	130.982
12	155.535
15	182.585
18	212.63
21	246.859
24	285.127
27	331.2
30	383.87
33	445.718
36	519.03
39	605.614
42	709.1
45	838.664
48	1003.03

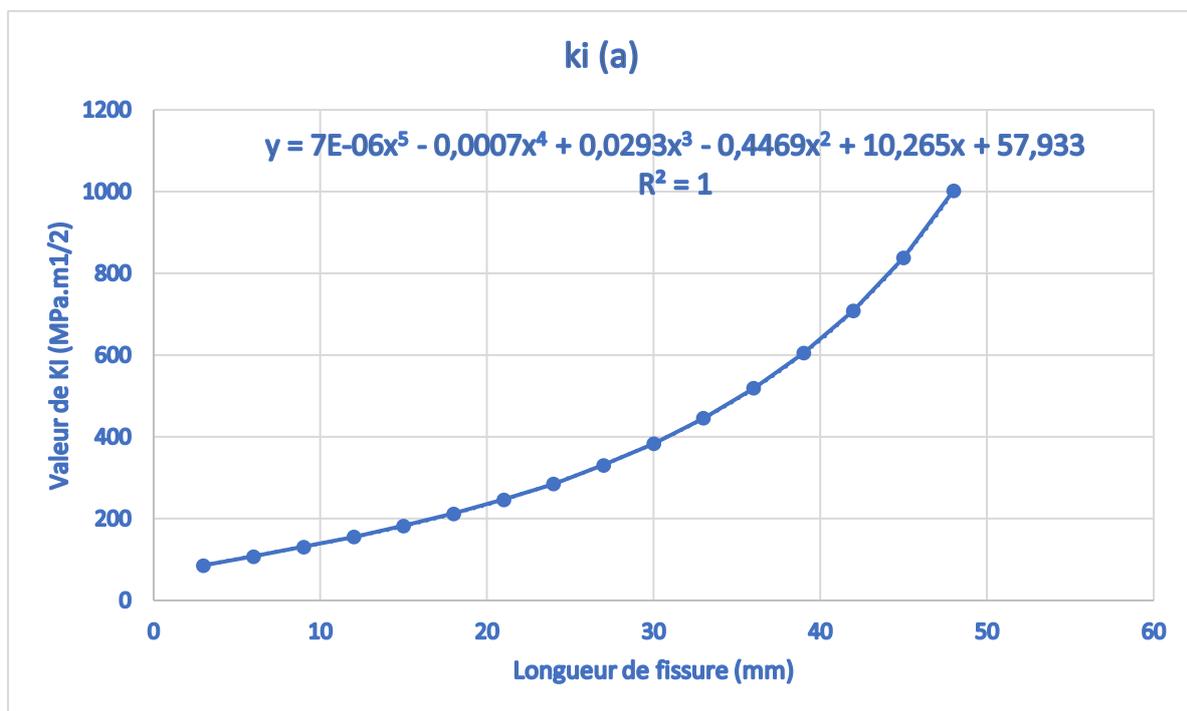


Figure 5-3 : Courbe de K_I calculé par CAST3M en fonction de a pour l'entaille en V

La figure 5-4 représente l'influence de la taille de fissure sur le facteur d'intensité de contraintes en mode 1. Celle-ci montre clairement que l'intensité de ce facteur croît avec l'accroissement de la taille de fissure, une fissure plus longue engendre un facteur d'intensité de contraintes plus significative.

5.3.1. Calcul de facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC}

Pour calculer le facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC} , on va utiliser l'équation de tendance de la courbe représentée sur la figure 3 à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

L'équation de tendance de la courbe $K_I(a)$ obtenue est polynomiale d'ordre 5 sous la forme :

$$K_I = A(a^5) + B(a^4) + C(a^3) + D(a^2) + E(a) + F$$

La longueur critique a_c est obtenue quand la valeur de seconde dérivée de K_I est égale 0 :

$$\frac{d^2 K_I}{da^2} = 0$$

En résolvant l'équation précédente on trouve la longueur de fissure critique a_c .

lorsque la longueur de la fissure atteint sa valeur critique a_c , le facteur d'intensité de contrainte atteint également sa valeur critique K_{IC}

$$K_{IC} = A(a_c^5) + B(a_c^4) + C(a_c^3) + D(a_c^2) + E(a_c) + F$$

Les résultats des facteurs d'intensité de contraintes (K_{IC}) en fonction de la variation de la propagation de longueur de fissure de différentes géométries sont donnés dans les tableaux suivant :

Tableau 5-6 : Fonctions polynomiales des courbes des différentes géométries d'entaille et leurs dérivées secondes (CAST3M)

Entaille		Équation
V	K_I	$7 \times 10^{-6}a^5 - 0.0007a^4 + 0.0293a^3 - 0.4469a^2 + 10.265a + 57.933$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$140 \times 10^{-6}a^3 - 0.0084 a^2 + 0.01758 a - 0.8898$
C	K_I	$6 \times 10^{-6}a^5 - 0.0005a^4 + 0.0231a^3 - 0.3548a^2 + 9.93a + 57.36$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$120 \times 10^{-6}a^3 - 0.006 a^2 + 0.1386 a - 0.7096$
U	K_I	$3 \times 10^{-6}a^5 - 0.0003a^4 + 0.012a^3 - 0.139a^2 + 8.0567a + 63.055$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$60 \times 10^{-6}a^3 - 0.0036 a^2 + 0.072 a - 0.278$
S	K_I	$7 \times 10^{-6}a^5 - 0.0008a^4 + 0.0386a^3 - 0.7574a^2 + 14.717a + 36.17$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$140 \times 10^{-6}a^3 - 0.0096 a^2 + 0.2316 a - 1.5148$

Tableau 5-7 : Valeurs trouvées par CAST3M des longueurs critiques et des facteurs d'intensité des contraintes critiques

Entaille	a_c (mm)	K_{IC} (MPa.m ^{1/2})
V	7.295	118.57
C	6.89	115.456
U	5.012	101.27
S	10.23	140.8

5.4. Facteur d'intensité de contrainte théorique

Le facteur d'intensité de contrainte est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$K_{th} = \sigma\sqrt{\pi a} \left[1.12 - 0.23 \left(\frac{a}{W} \right) + 10.55 \left(\frac{a}{W} \right)^2 - 21.71 \left(\frac{a}{W} \right)^3 + 30.38 \left(\frac{a}{W} \right)^4 \right] \quad (5.4)$$

Avec ; **W** = Largeur de la plaque. [21]

Dans notre cas :

$$K_{th} = 257\sqrt{\pi \times 0.005} \left[1.12 - 0.23 \left(\frac{0.005}{90} \right) + 10.55 \left(\frac{0.005}{90} \right)^2 - 21.71 \left(\frac{0.005}{90} \right)^3 + 30.38 \left(\frac{0.005}{90} \right)^4 \right]$$

$$K_{th} = 36.075 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$$

5.5. Comparaison des résultats

Tableau 5-8 : Comparaison entre les résultats de a_c et K_{IC} pour les 2 logiciels

		Unité	EV	EC	EU	ES
FRANC2D	a_c	mm	5.8	6.22	5.85	6.578
	k_{IC}	(MPa. $\text{m}^{1/2}$)	27.87	28.64	27.95	29.17
CAST3M	a_c	mm	7.295	6.89	5.012	10.23
	k_{IC}	(MPa. $\text{m}^{1/2}$)	118.57	115.456	101.27	140.8

Tableau 5-9 : Comparaison entre les résultats de K_{IC} et K_{th}

Type	K_{IC} (MPa. $\text{m}^{1/2}$)		
	Résultats théorique	FRANC2D	CAST3M
EV	36.075	27.87	118.57
EC		28.64	115.456
EU		27.95	101.27
ES		29.17	140.8

Conclusion :

La simulation de la plaque en aluminium avec fissure au bord gauche a été effectuée en utilisant les logiciels FRANC2D et CAST3M. Nous avons étudié la propagation d'une fissure par les 2 logiciels. On a comparé la valeur du facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC} déterminé à celui calculé théoriquement, On a trouvé que la simulation avec logiciel FRANC2D nous a donné des résultats presque proches, tandis qu'avec CAST3M, l'erreur est plus grande.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le matériau de notre étude est de l'aluminium de propriétés :

- Léger
- Pas de corrosion
- Faible limite d'élasticité
- Faible résistance à la traction ultime
- Faible déformation à la rupture
- Cher
- Peut fondre en cas d'incendie

Notre objectif est de déterminer la ténacité du matériau KIC (facteur d'intensité de contrainte critique) par 2 logiciels de simulation de la propagation de la fissure (FRANC2D et CAST3M).

Les principaux résultats sont :

FRANC2D		
Entaille		Équation
V	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 6 \times 10^{-5}a^4 + 0.003a^3 - 0.0417a^2 + 1.9011a + 17.727$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 72 \times 10^{-5}a^2 + 0.018a - 0.0834$
C	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0035a^3 - 0.051a^2 + 1.9682a + 17.729$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 84 \times 10^{-5}a^2 + 0.021a - 0.102$
U	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0031a^3 - 0.0437a^2 + 1.9192a + 17.679$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 72 \times 10^{-5}a^2 + 0.0186a - 0.0874$
S	K_I	$8 \times 10^{-7}a^5 - 7 \times 10^{-5}a^4 + 0.0034a^3 - 0.0512a^2 + 1.9981a + 17.397$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$160 \times 10^{-7}a^3 - 84 \times 10^{-5}a^2 + 0.0204a - 0.1024$

CAST3M		
Entaille		Équation
V	K_I	$7 \times 10^{-6}a^5 - 0.0007a^4 + 0.0293a^3 - 0.4469a^2 + 10.265a + 57.933$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$140 \times 10^{-6}a^3 - 0.0084 a^2 + 0.01758 a - 0.8898$
C	K_I	$6 \times 10^{-6}a^5 - 0.0005a^4 + 0.0231a^3 - 0.3548a^2 + 9.93a + 57.36$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$120 \times 10^{-6}a^3 - 0.006 a^2 + 0.1386 a - 0.7096$
U	K_I	$3 \times 10^{-6}a^5 - 0.0003a^4 + 0.012a^3 - 0.139a^2 + 8.0567a + 63.055$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$60 \times 10^{-6}a^3 - 0.0036 a^2 + 0.072 a - 0.278$
S	K_I	$7 \times 10^{-6}a^5 - 0.0008a^4 + 0.0386a^3 - 0.7574a^2 + 14.717a + 36.17$
	$\frac{d^2K_I}{da^2}$	$140 \times 10^{-6}a^3 - 0.0096 a^2 + 0.2316 a - 1.5148$

		Unité	EV	EC	EU	ES
FRANC2D	a_c	mm	5.8	6.22	5.85	6.578
	k_{IC}	(MPa.m ^{1/2})	27.87	28.64	27.95	29.17
CAST3M	a_c	mm	7.295	6.89	5.012	10.23
	k_{IC}	(MPa.m ^{1/2})	118.57	115.456	101.27	140.8

Type	K_{IC} (MPa.m ^{1/2})		
	Résultats théorique	FRANC2D	CAST3M
EV	36.075	27.87	118.57
EC		28.64	115.456
EU		27.95	101.27
ES		29.17	140.8

La précision des résultats :

On a trouvé que la simulation avec logiciel FRANC2D nous a donné des résultats presque proches, tandis qu'avec CAST3M, l'erreur est plus grande.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] mécanique de la rupture PDF (doc Player. Fr) , Online book
- [2] SAIDI. H. E et Oualid Ahmed. M. « calcul du facteur d'intensité de contrainte par Abaqus pour une fissure centrale et une fissure débouchant, mémoire master, blida, Algérie 2016
- [3] techno science. Net « rupture sous licence cc-by-sa3.0 mécanique de la rupture définition et explication »
- [4] HASSANI. C « fissure de ducale dans une rêvent sous chargement anti plan blida Algérie 2013
- [5] ZIBOUCHE Salah eddin « effet de l'entaille sur le comportement mécanique d'une plaque traction blida Algérie 2021-2022
- [6] M.Demidem « analyse du phénomène de la concentration de contrainte d'une plaque perçee par la methode des elemnts fini » 2014
- [7] Fellahi.M. A et Ralemi .A « détermination de facteur d'intensité de contrainte d'une roue a dent à droite a la rupture » , mémoire de master, BLIDA, Algérie 2023
- [8] M.Benkabouche « etude de concentration de contrainte sur la tenue de fatigue »mostaghanem algerie 2021 2022
- [9] E.Niemi “stress determination for fatigue analyst of welded compoments” cobridge 1995
- [10] W.Fricke et S.J “ fatigue analyses of welded composites wood head “ combridge 2006
- [11] F.P Bannarn “calculating the coefficient of concentration of stress “automatic weding 1985
- [12] B Tveiten “the fatigue strength of rhs kompetanseprosjekt foreland Norway 2003
- [13] Z.Xiao et K.Yamada “methodes of determing geometrique stress “ journal of fatigue vol 26 pp 1277 ,2009
- [14] P.Ghosh “finit element analyses” international journal of joiniry of materials vol 17 N01 p 20-25 2005
- [15] Philip Kaltais « développement d'une méthode de prédiction de la durée de vie en fatigue »Québec canada 2008
- [16] HYPER LINK « wekipidia les logiciels »

[17] Casca official web site

[18] Manual de franc2d “a crack propagation simulation for plane layered structures”

[19]castem officiel web site pages 18-29

[20] : Bin Liu, Carlos Guedes Soares, Failure characteristics of strength-equivalent aluminium and steel plates in impact conditions

[21] L. Daoud, ‘approche fiabilité dans l’analyse du comportement des matériaux a la rupture’, thèse de doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 2018

[22] Dr Abderrahim ZEGHLOUL cour concepts fondamentaux de la mécanique de la rupture, université de lorraine.



Annexe A
Simulation avec les logiciels
CASCA / FRANC2D

Annexe A Simulation avec les logiciels CASCA/ FRANC2D

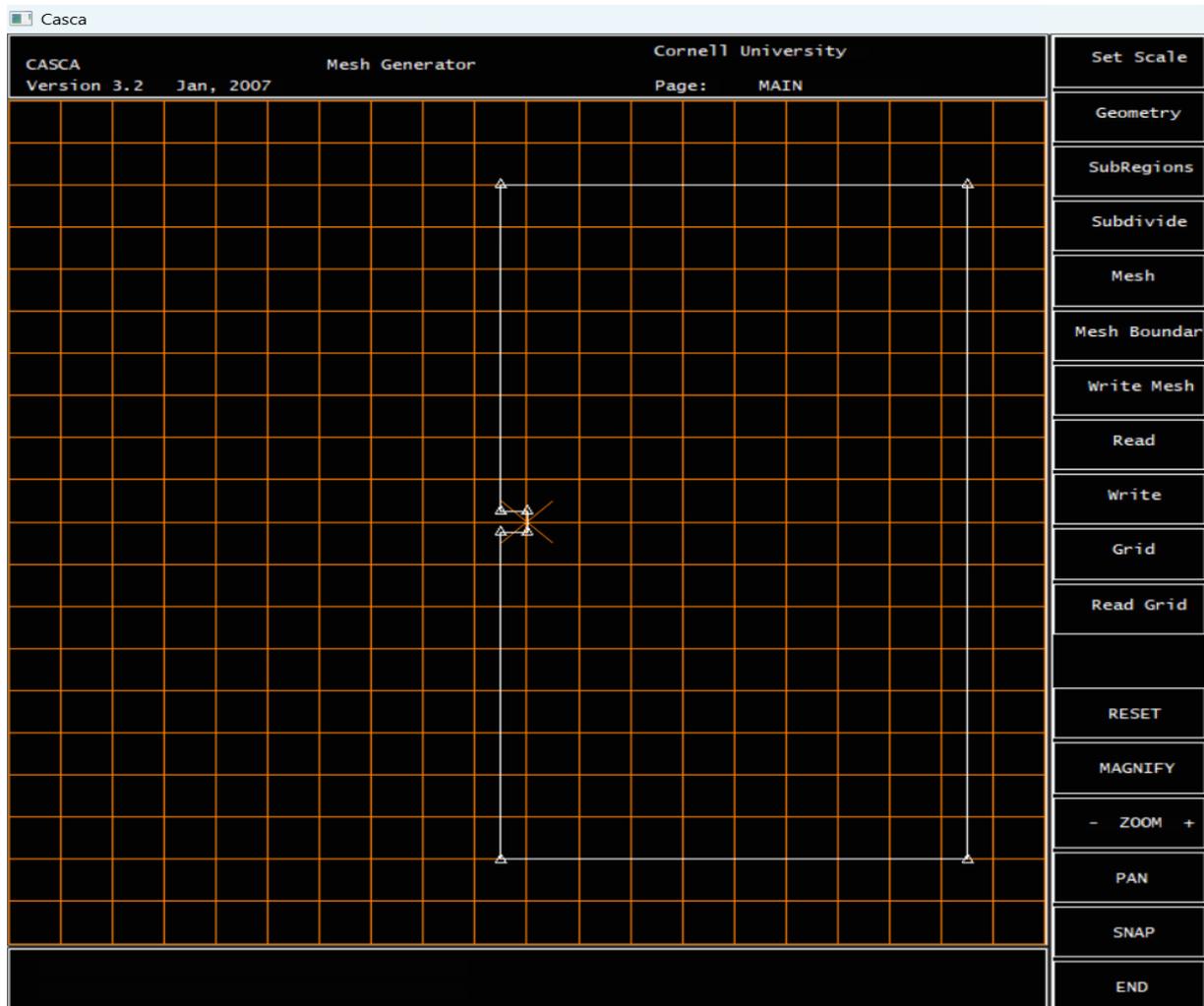


Figure A-1 : dessin de la pièce

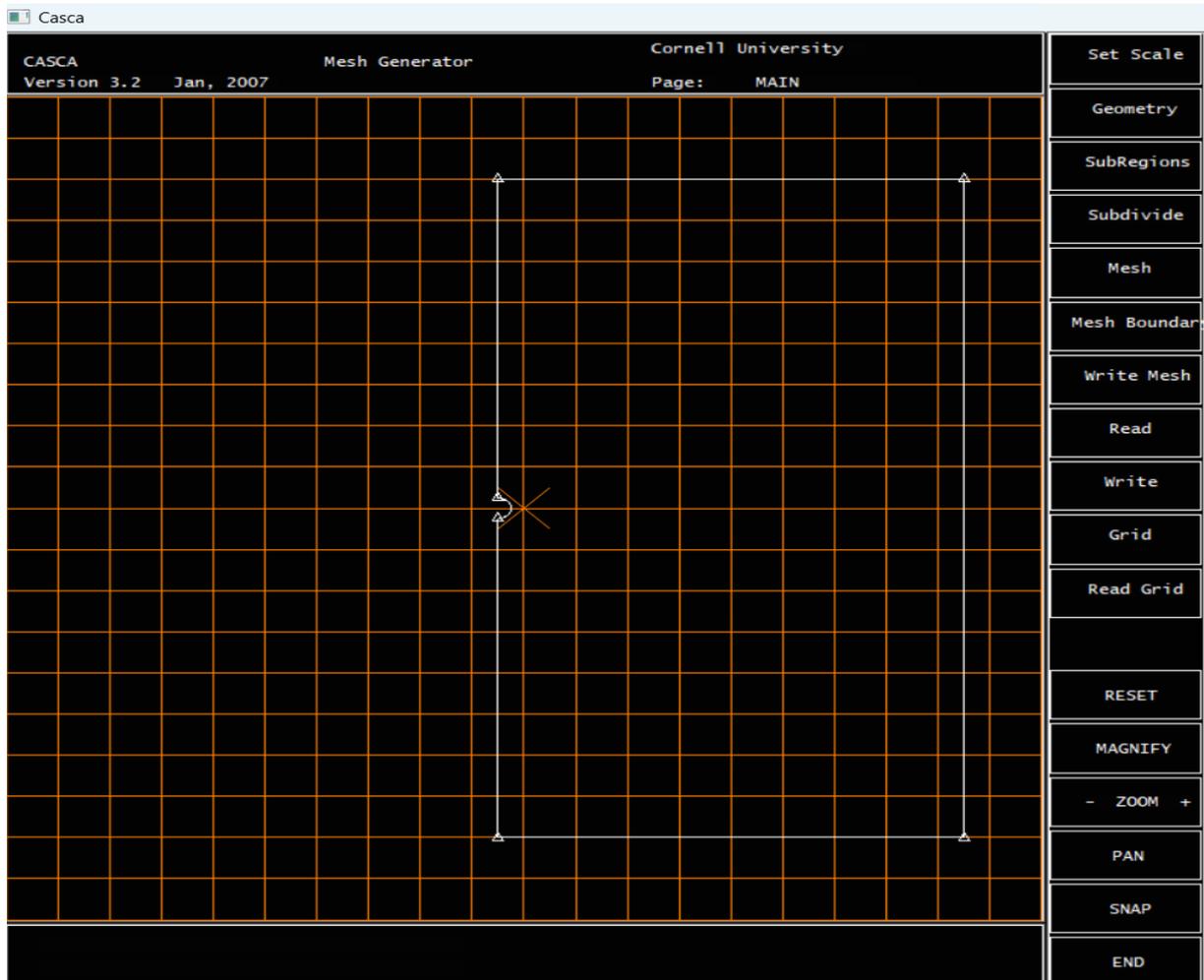


Figure A-2 : dessin de la pièce

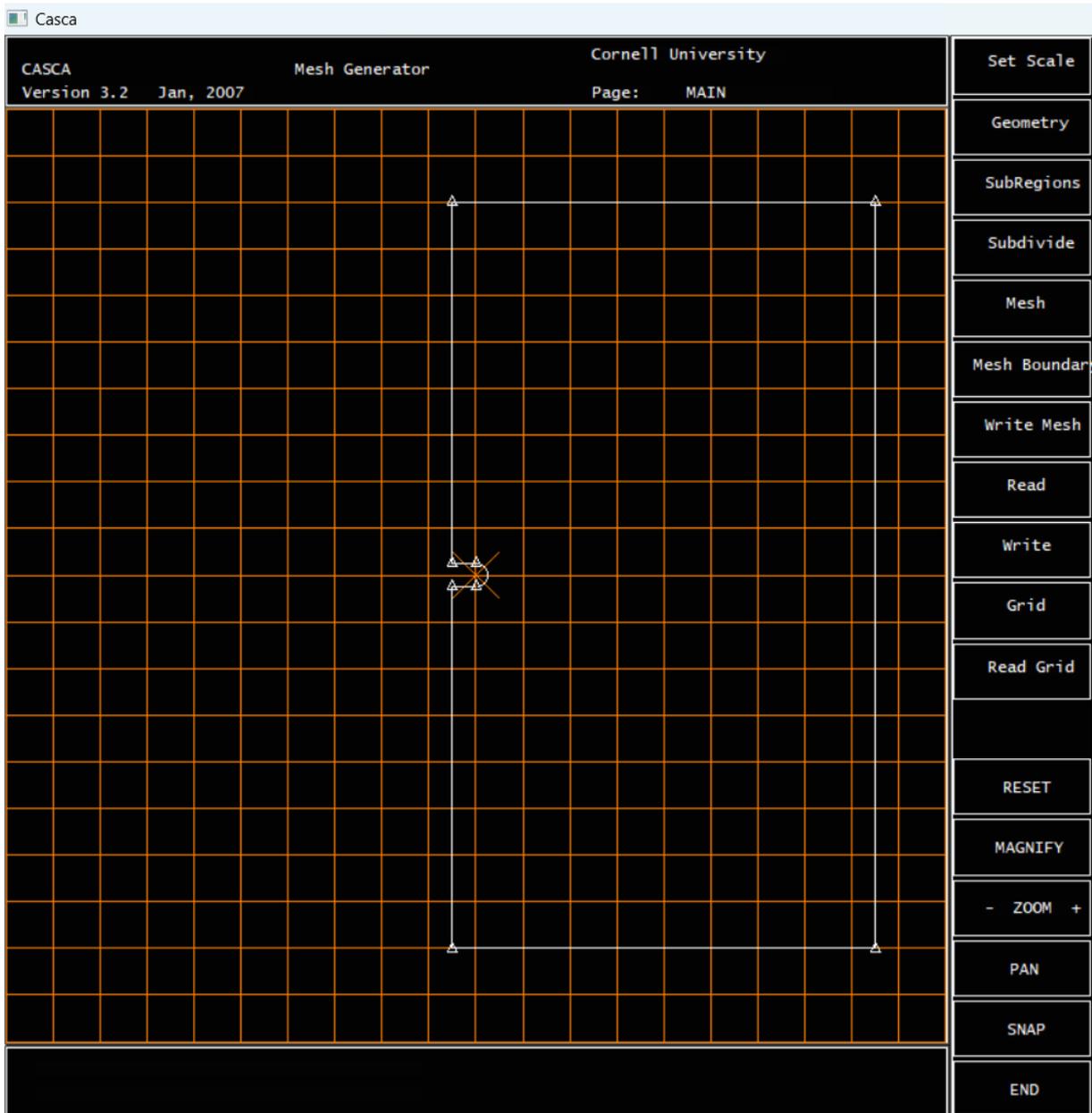


Figure A-3 : dessin de la pièce

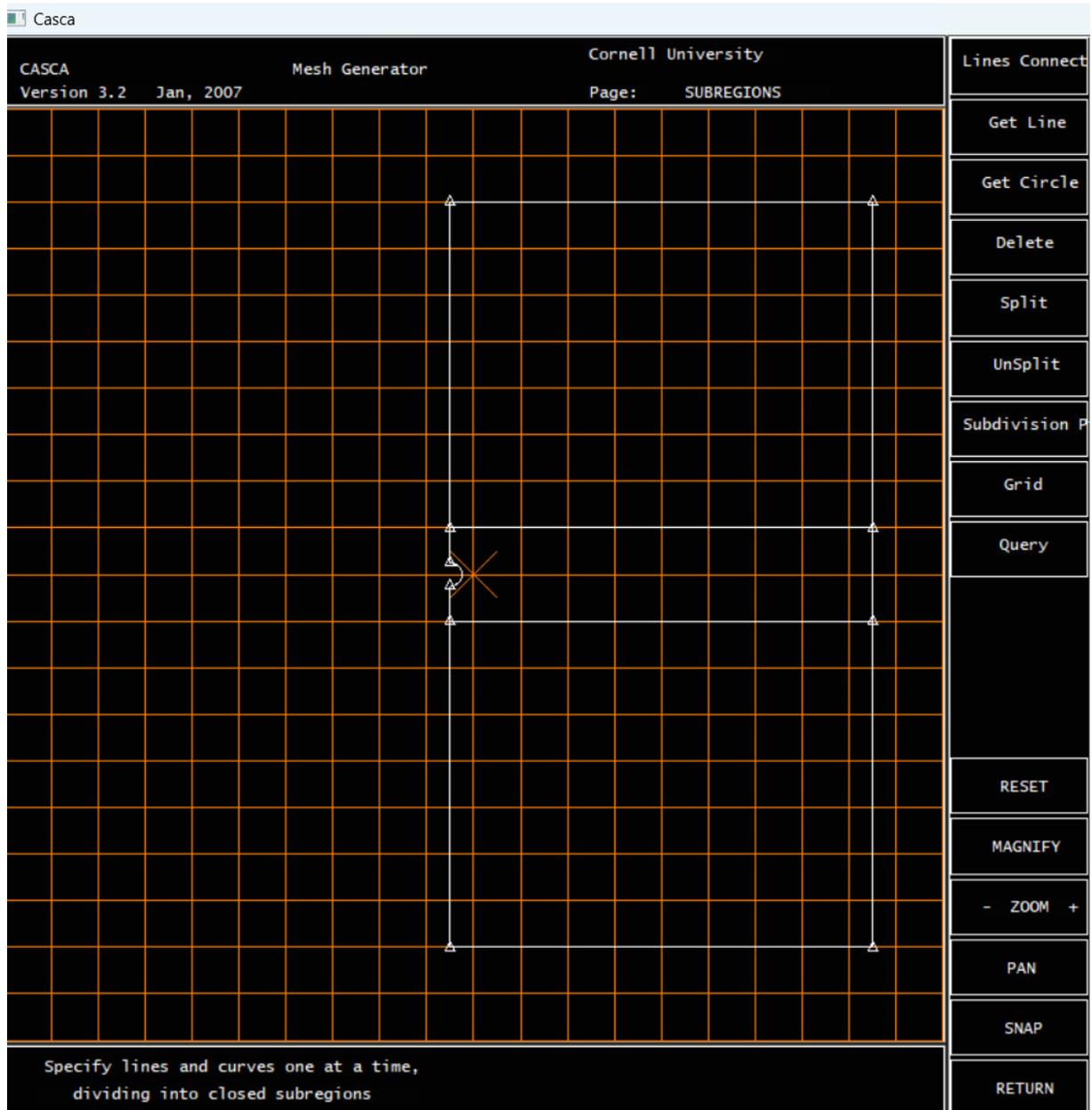


Figure A-4 : sous region de la piece

Casca

CASCA Mesh Generator Cornell University
 Version 3.2 Jan, 2007 Page: SUBREGIONS

Specify lines and curves one at a time,
 dividing into closed subregions

Lines Connect

Get Line

Get Circle

Delete

Split

UnSplit

Subdivision P

Grid

Query

RESET

MAGNIFY

- ZOOM +

PAN

SNAP

RETURN

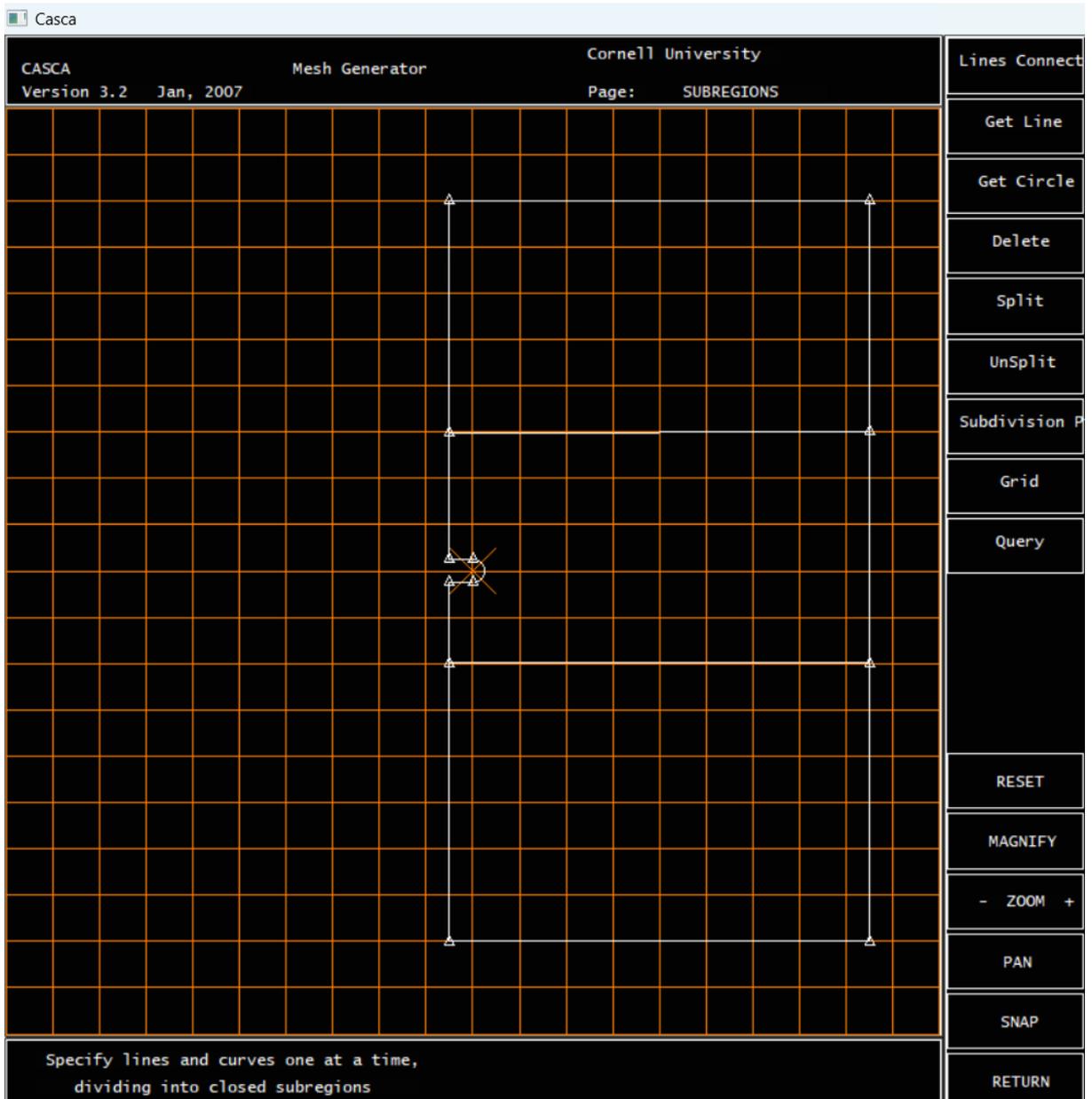


Figure A-5 : sous-région de la pièce

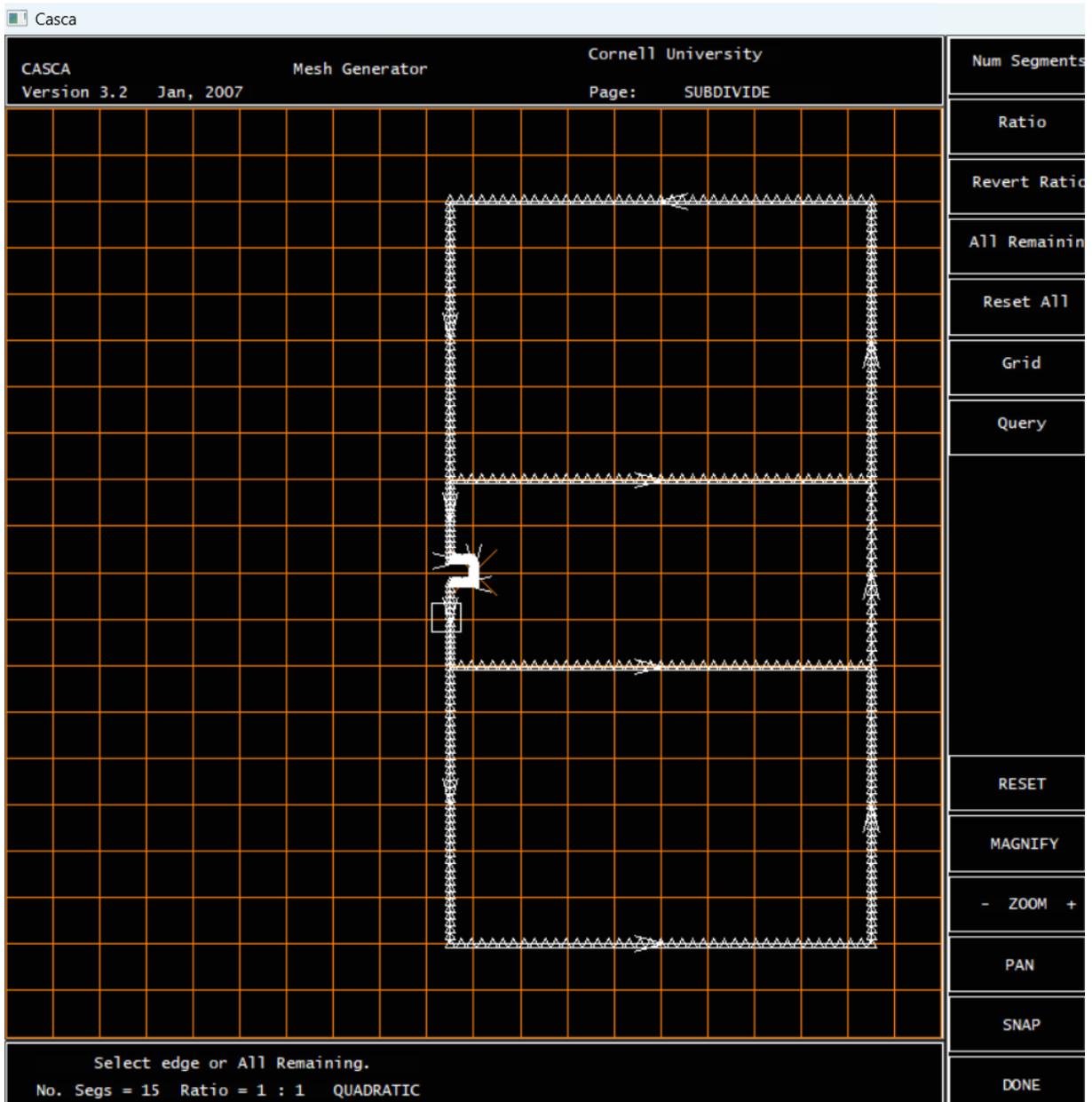


Figure A-7 : application de la densité

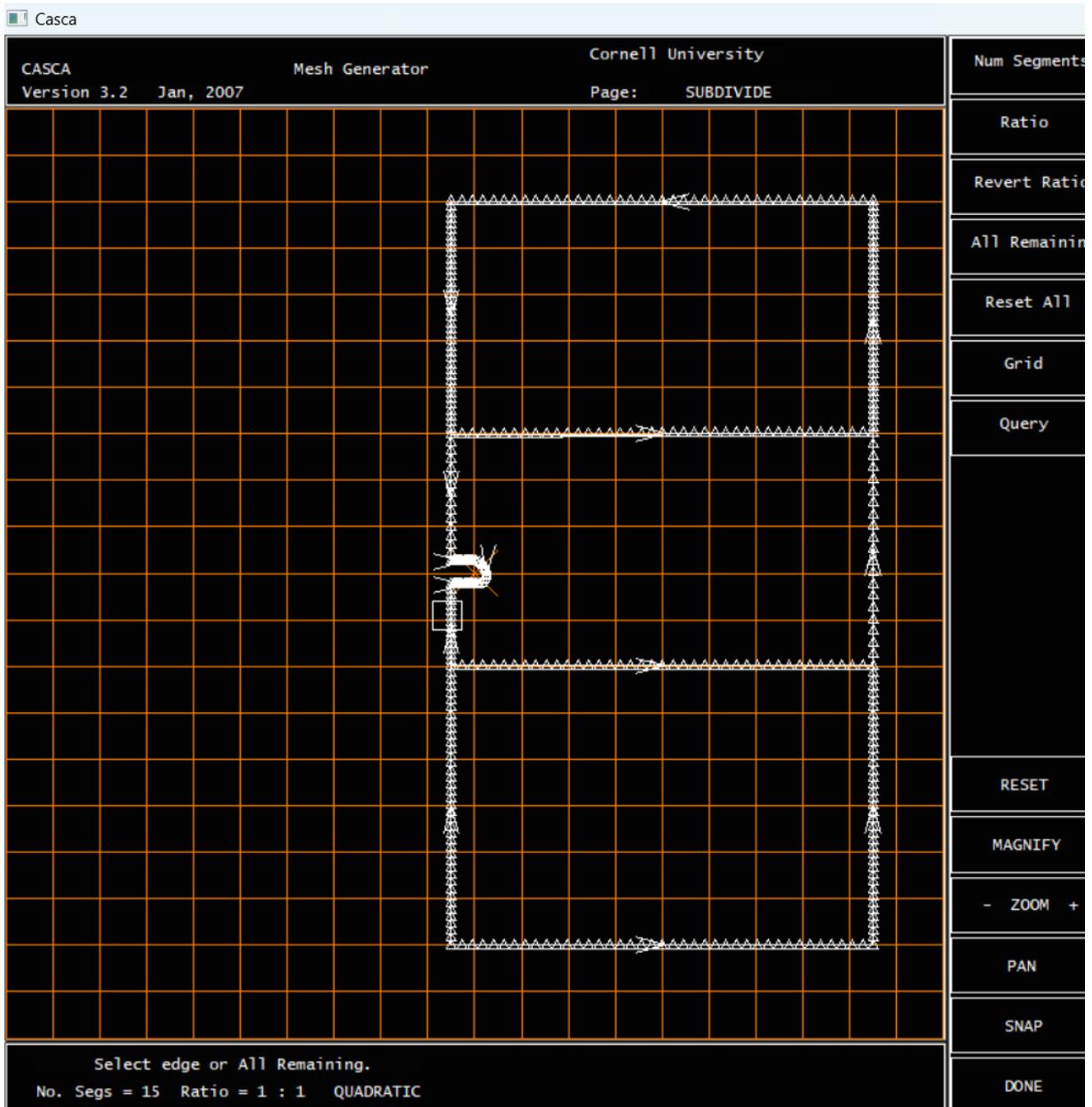


Figure A-8 : application de la densité

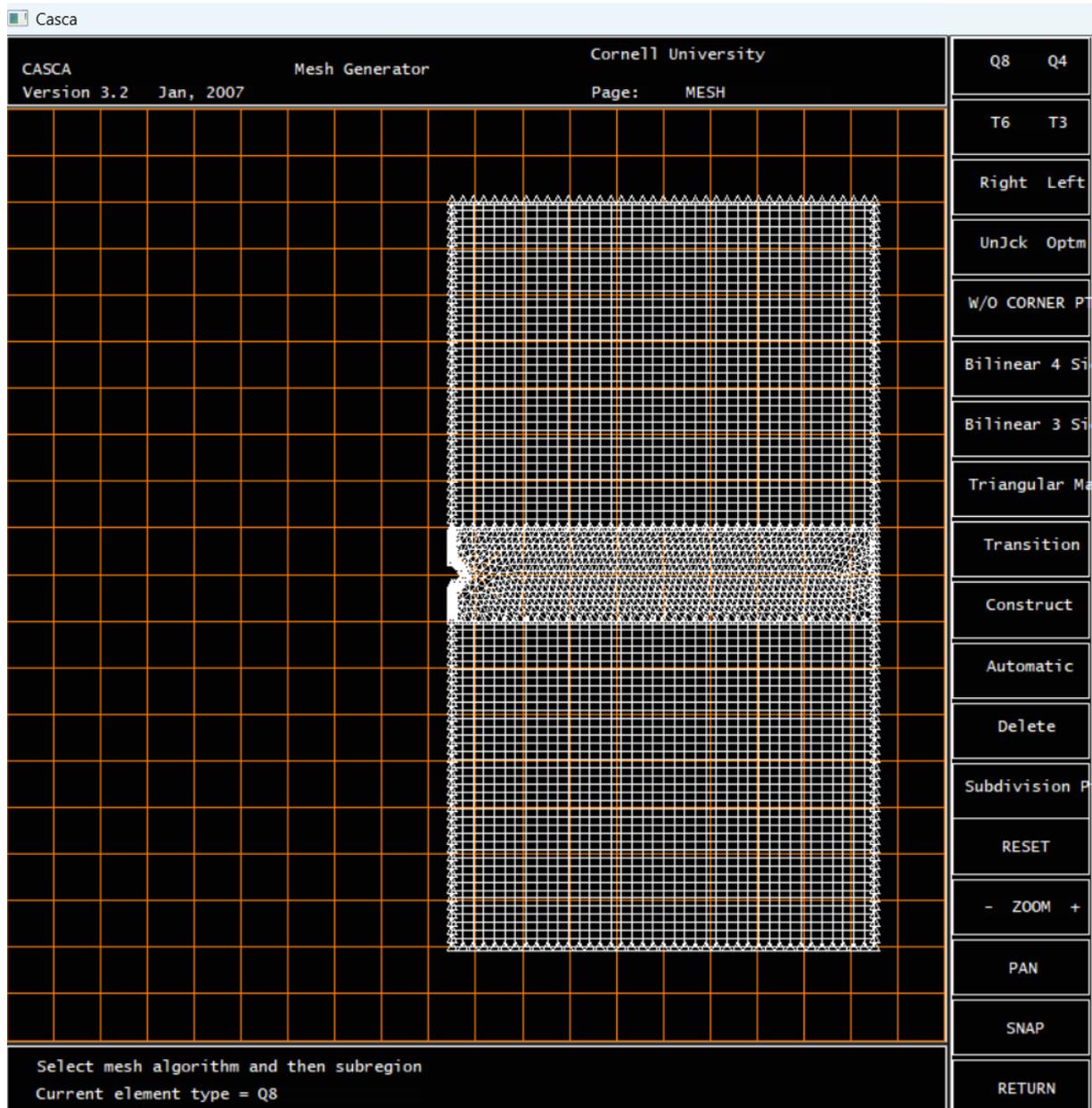


Figure A-9 : maillage de la piece

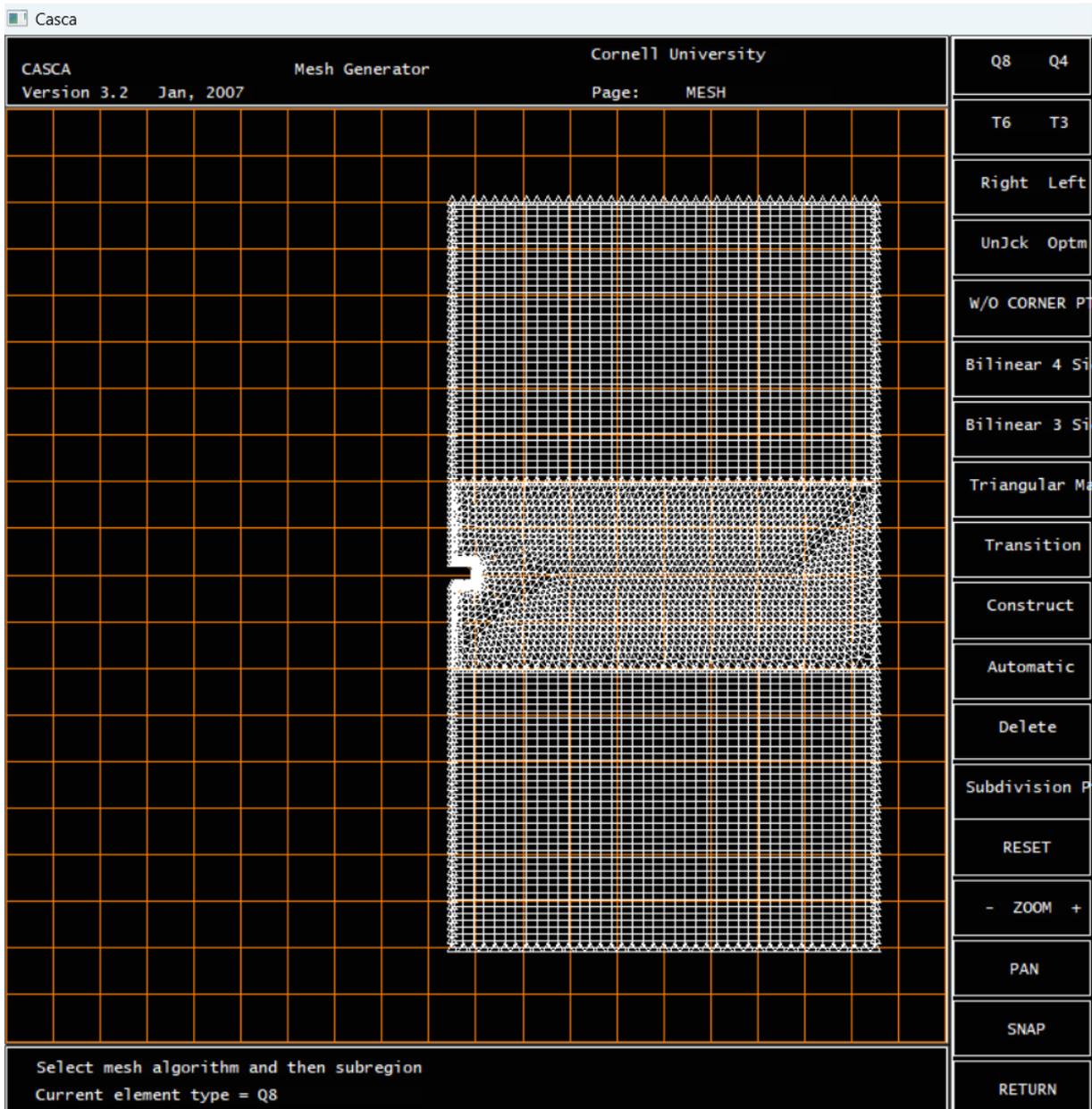


Figure A-10 : maillage de la piece

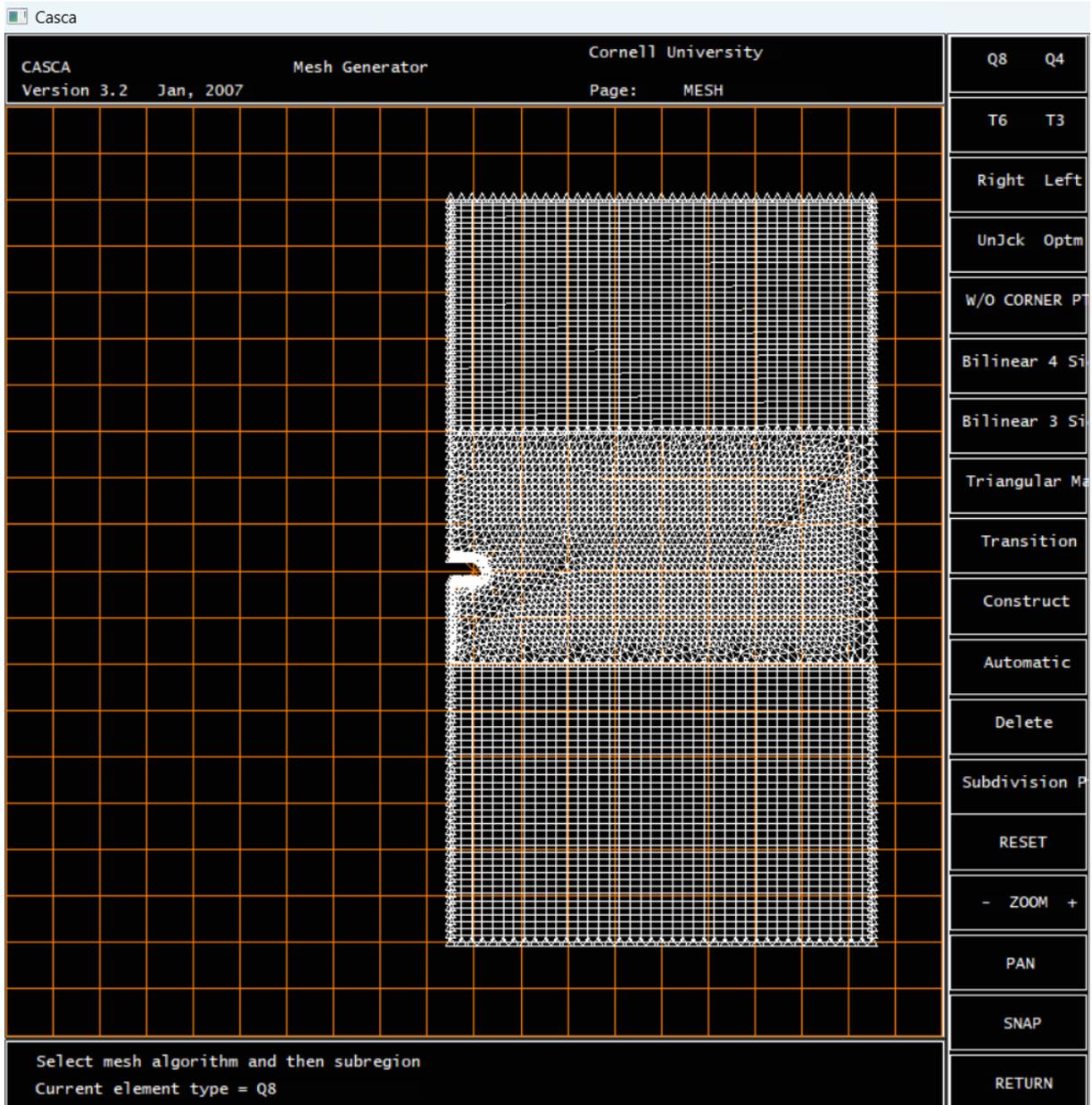


Figure A-11 : maillage de la piece

Franc2d Cas du (C)

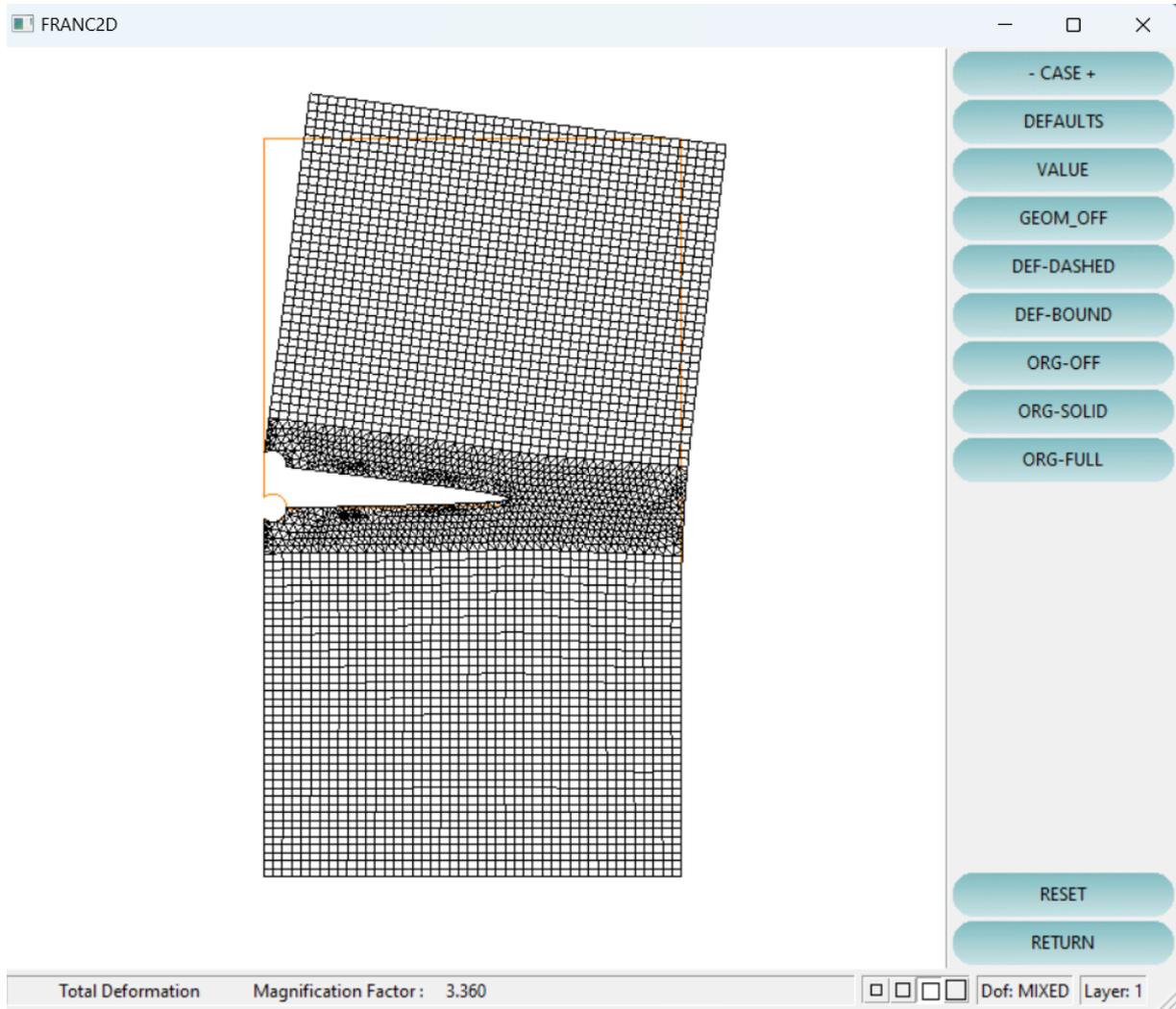


Figure A-12 : déformation de la pièce

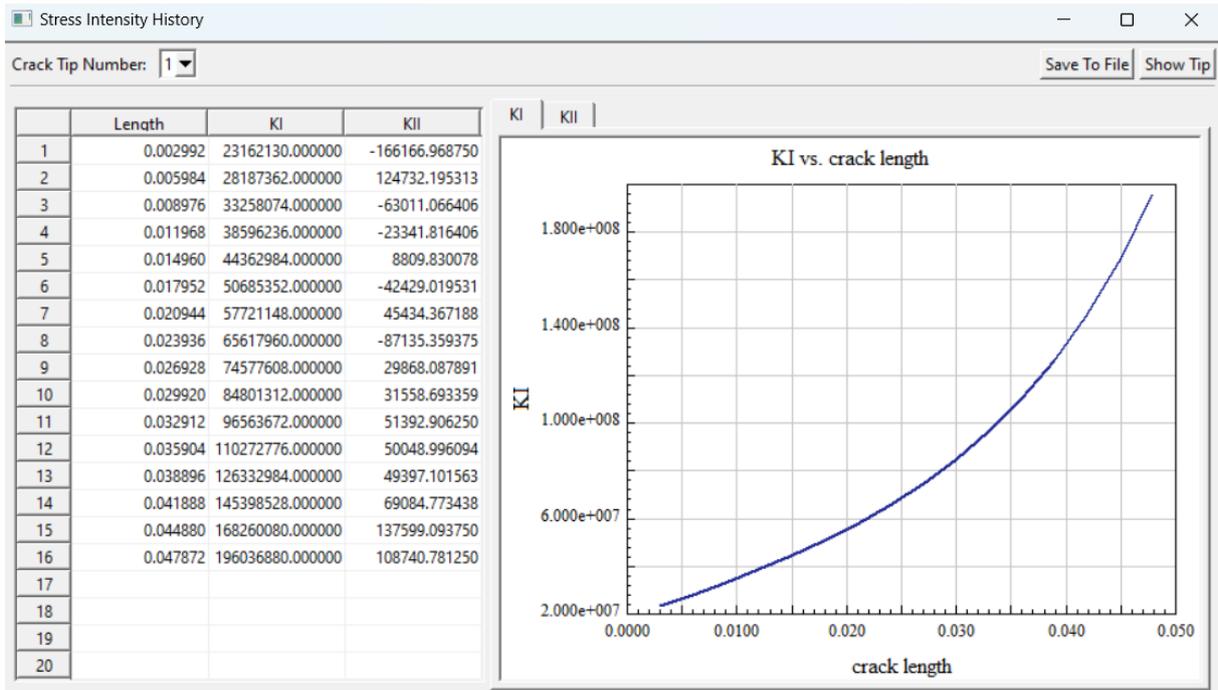


Figure A-13 : SIF history

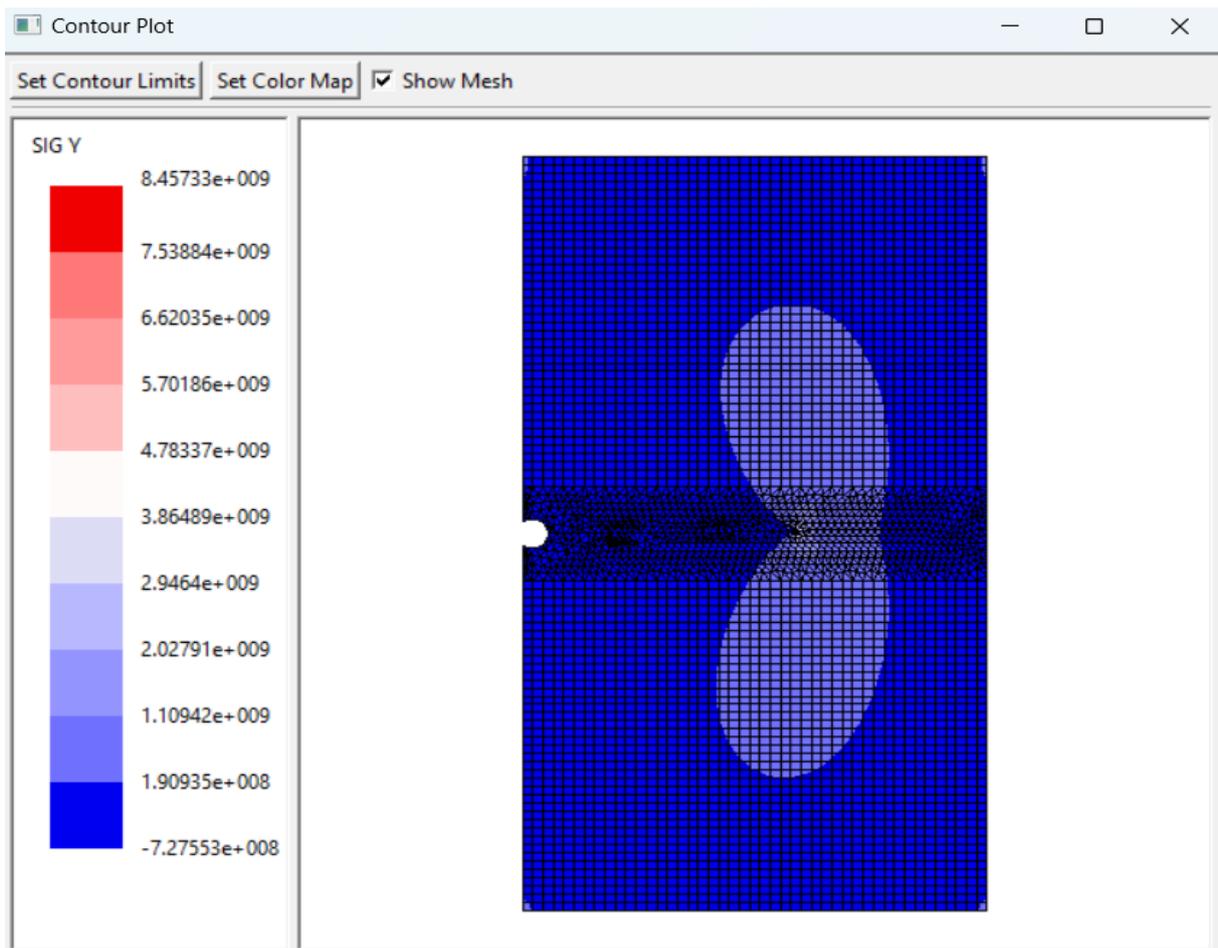


Figure A-14 : SIG Y

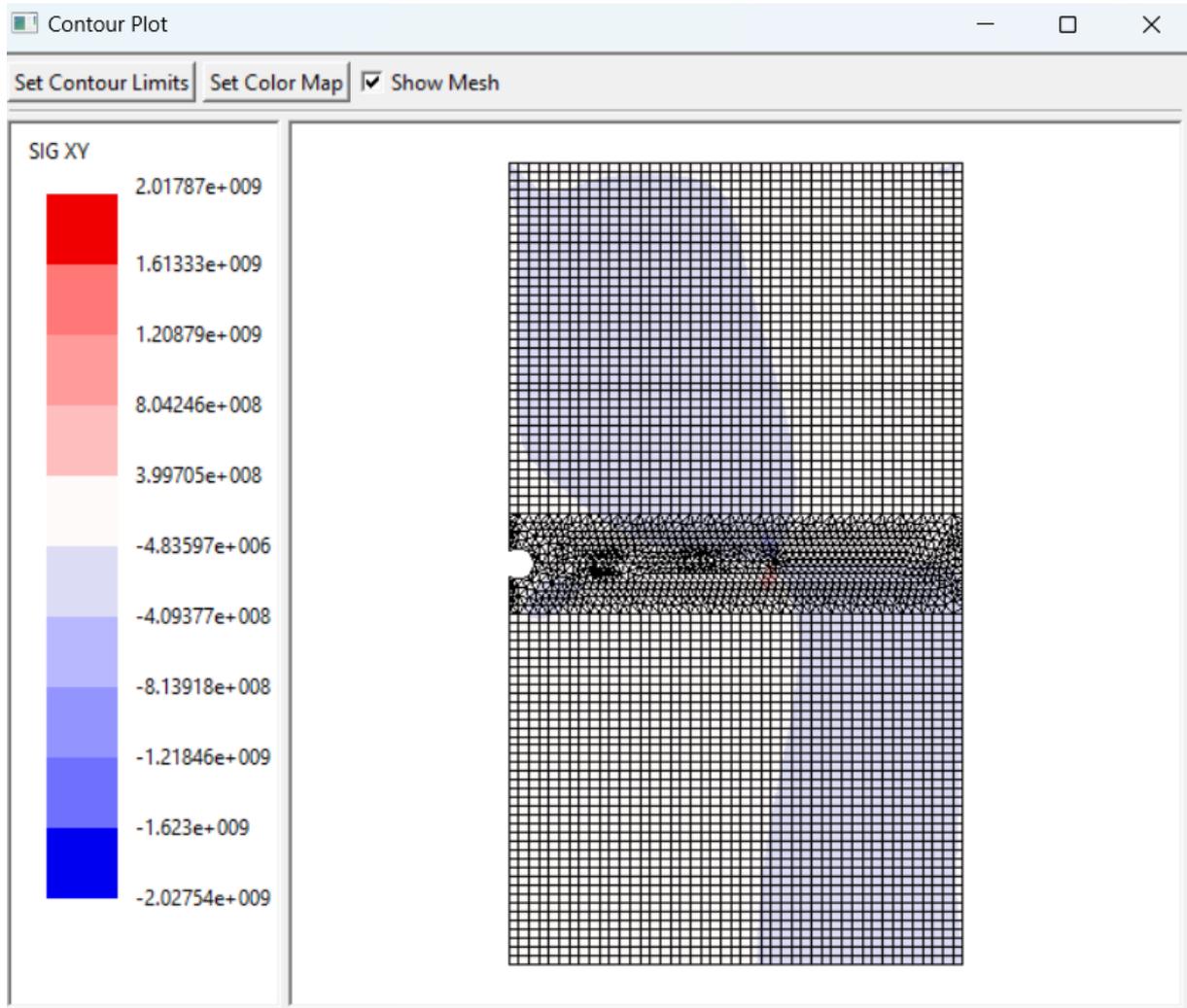


Figure A-15 : SIG XY

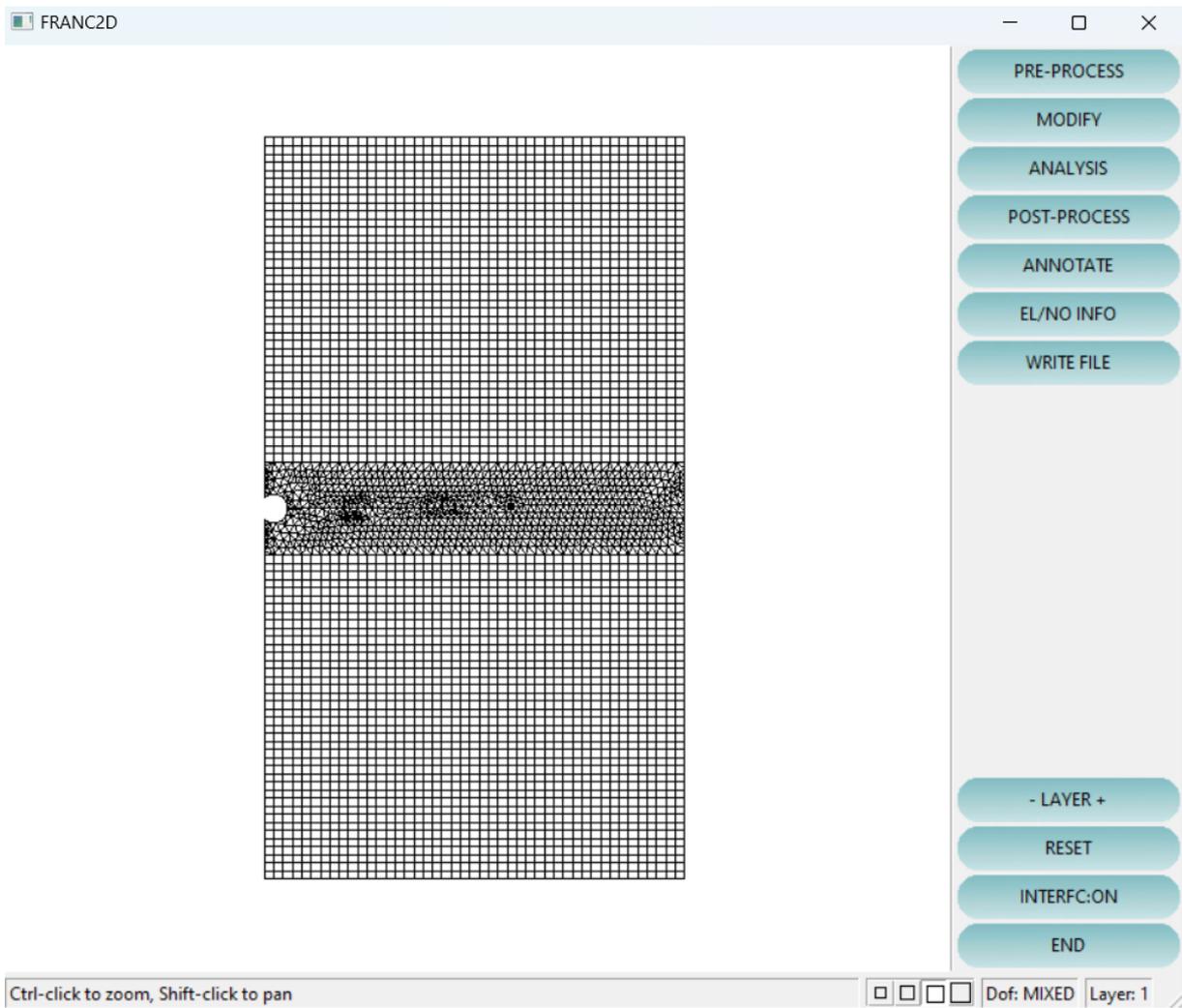


Figure A-16 : la pièce après la propagation

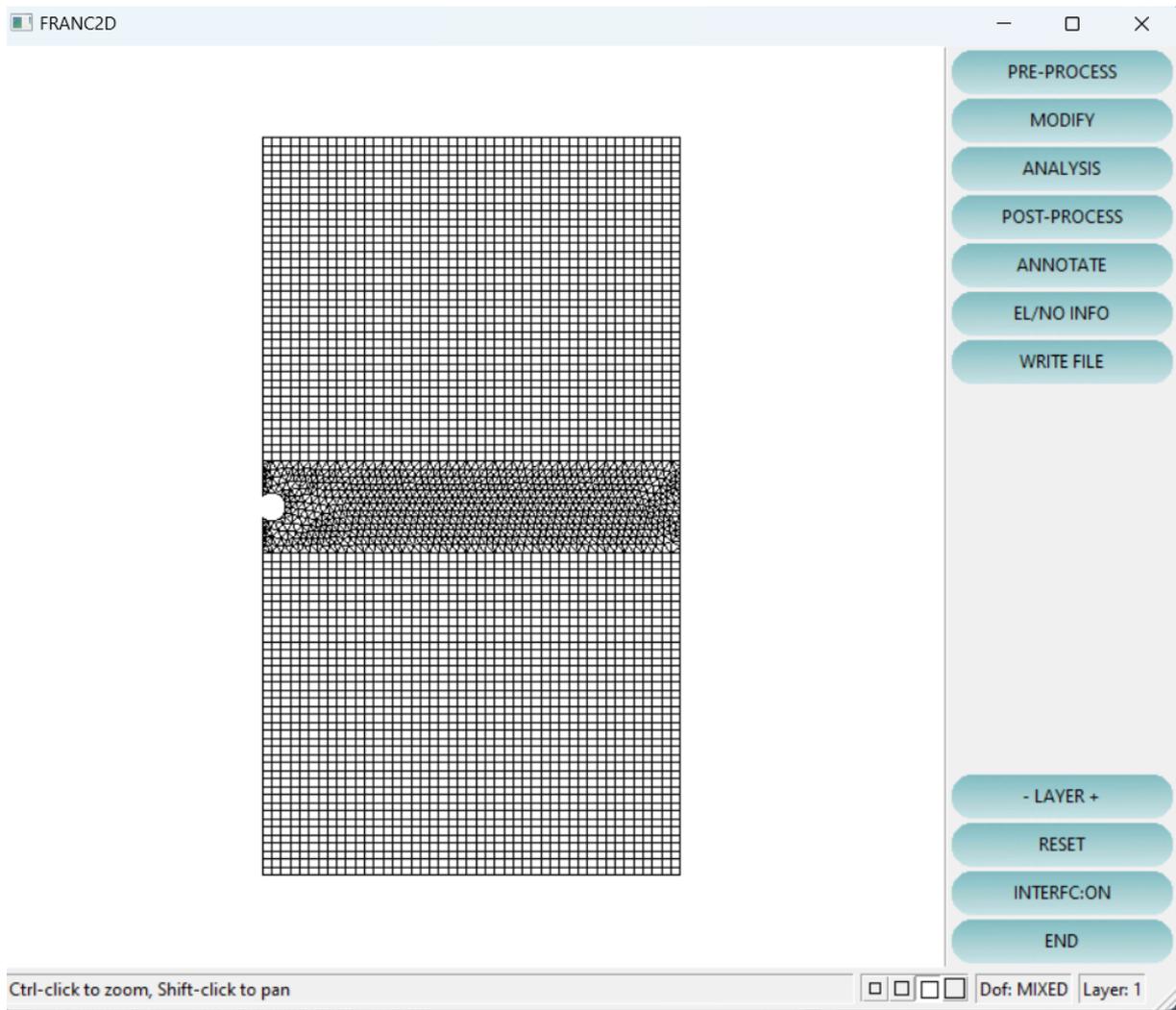


Figure A-17 : la pièce après la propagation

Cas du (S)

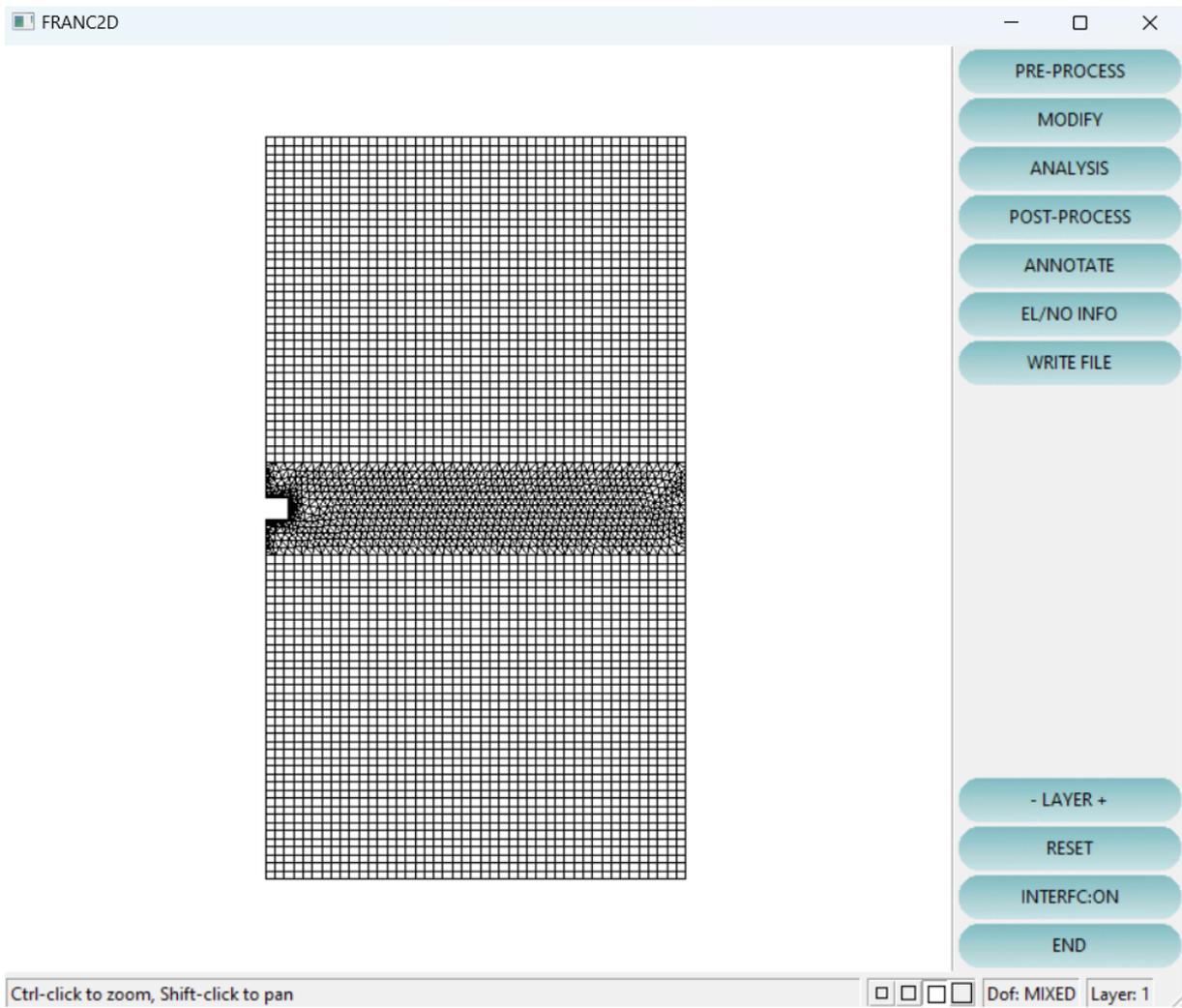


Figure A-18 : la pièce après la propagation

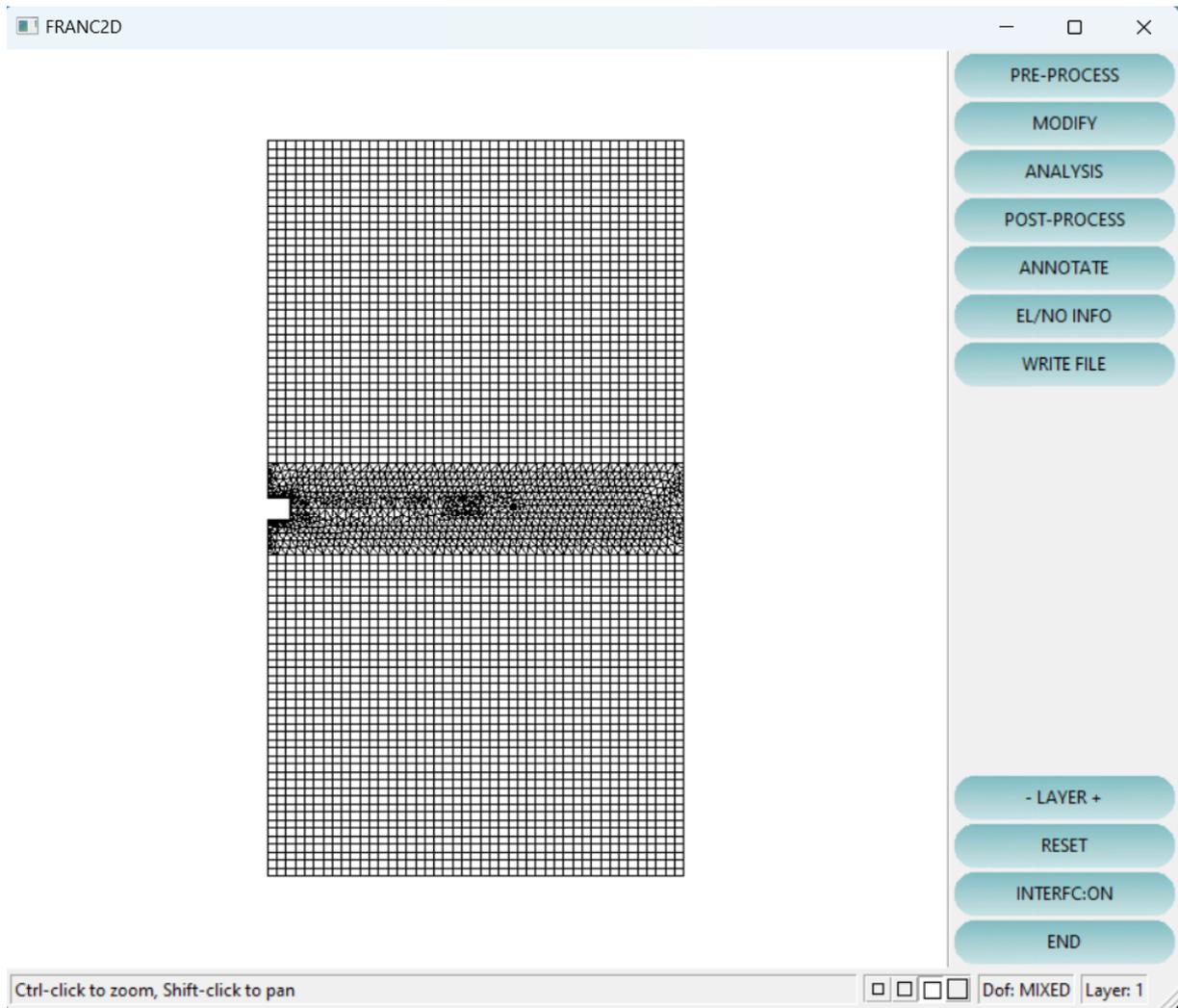


Figure A-19 : la pièce après la propagation

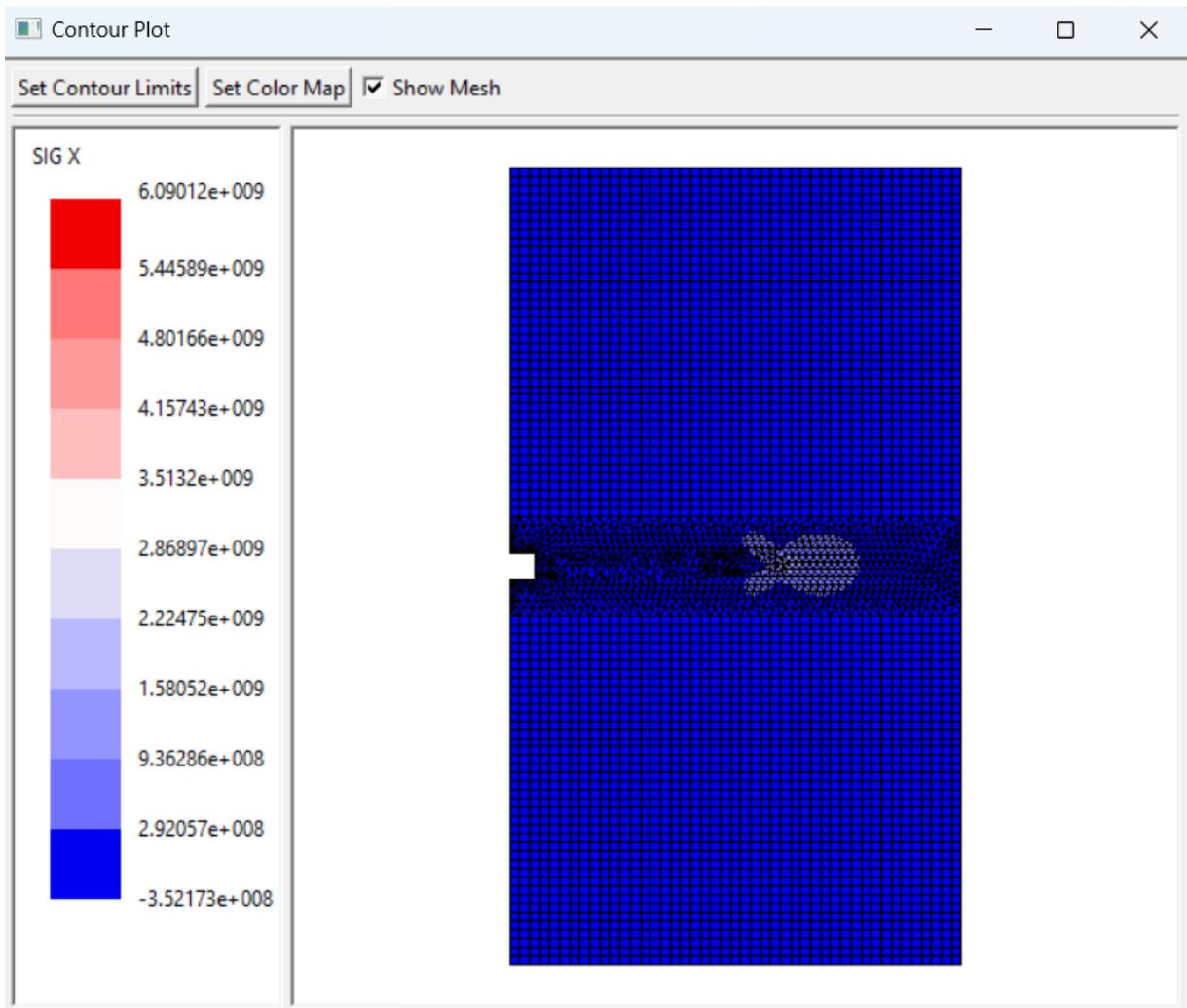


Figure A-20 : SIG X

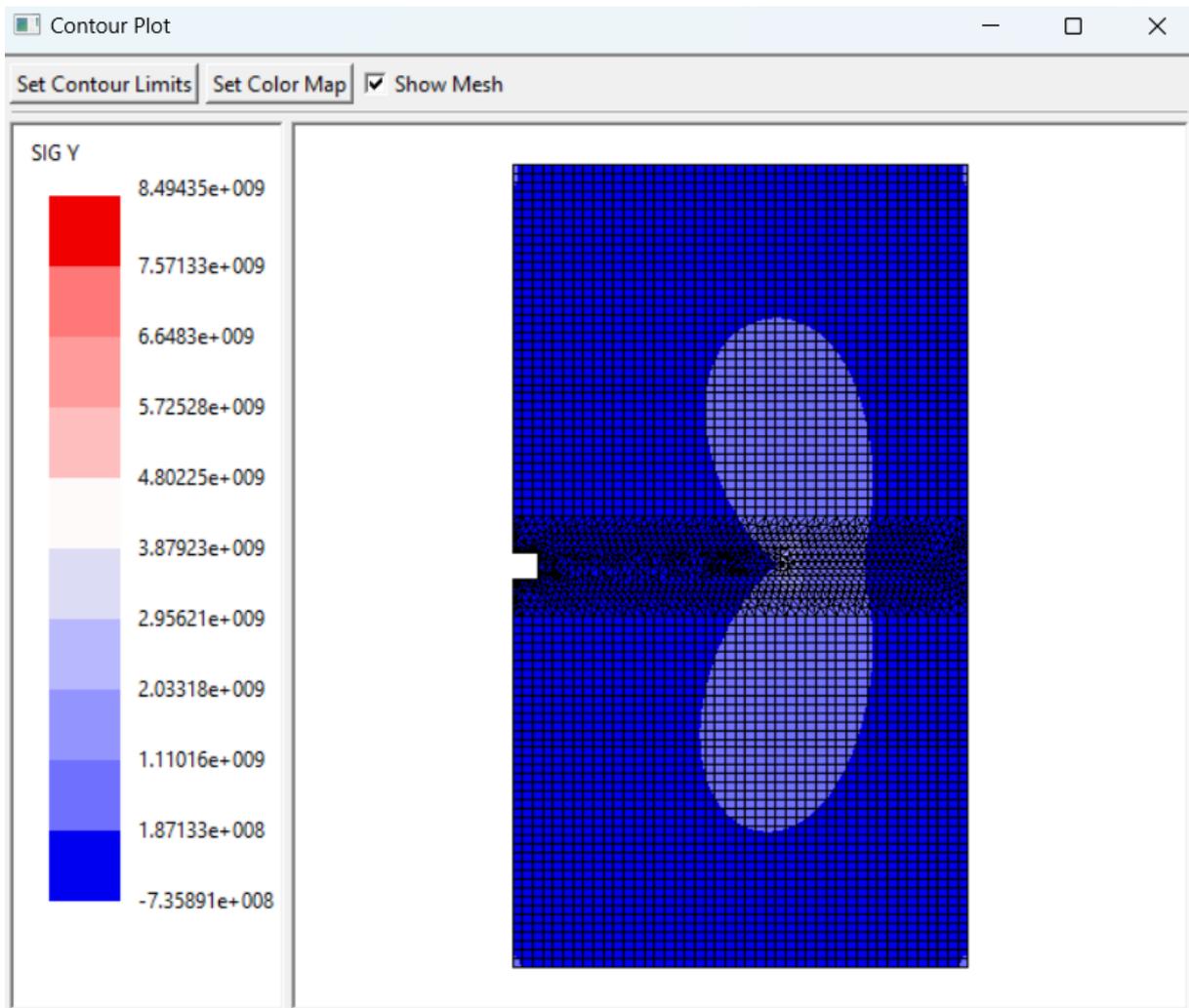


Figure A-21 : SIG Y

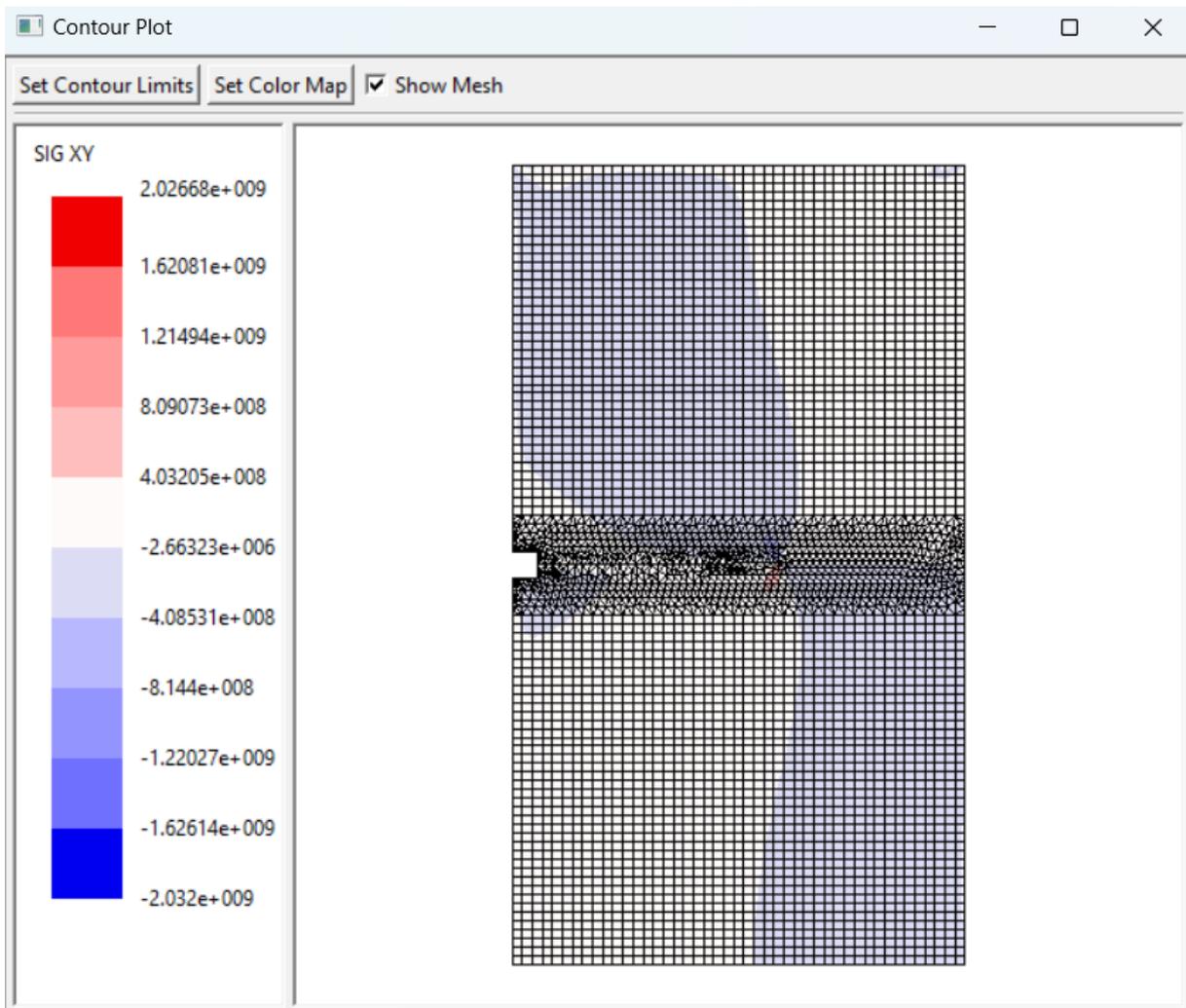


Figure A-22 : SIG XY

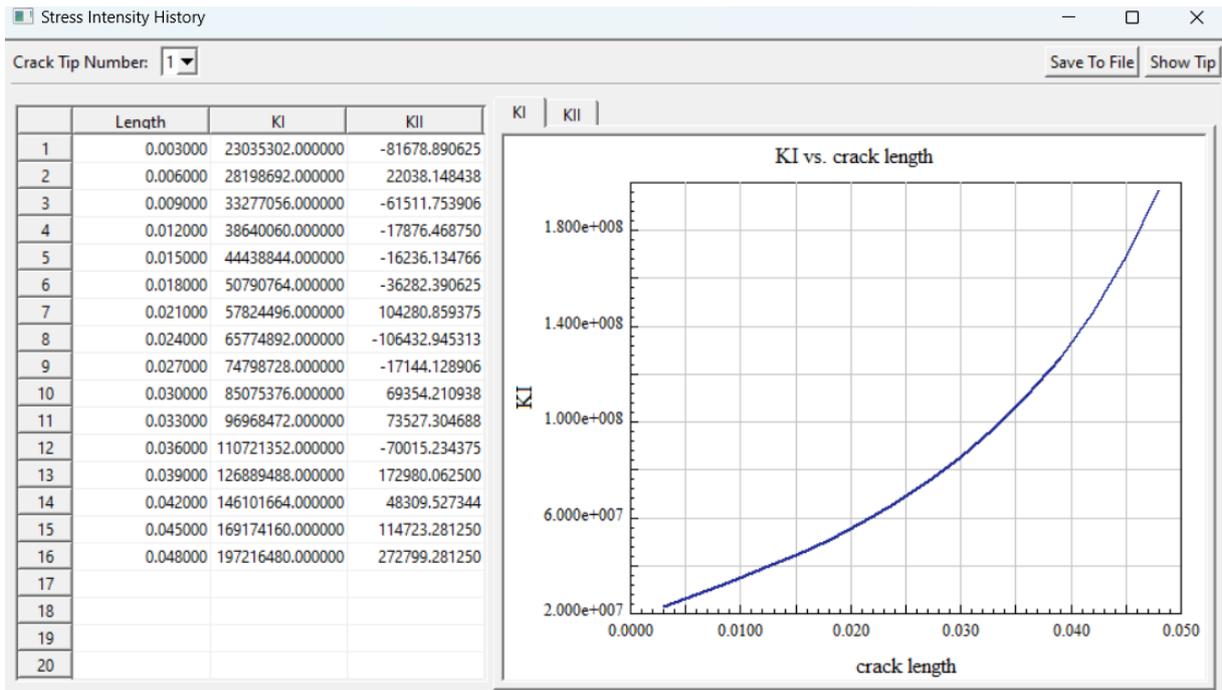


Figure A-23 : SIF history

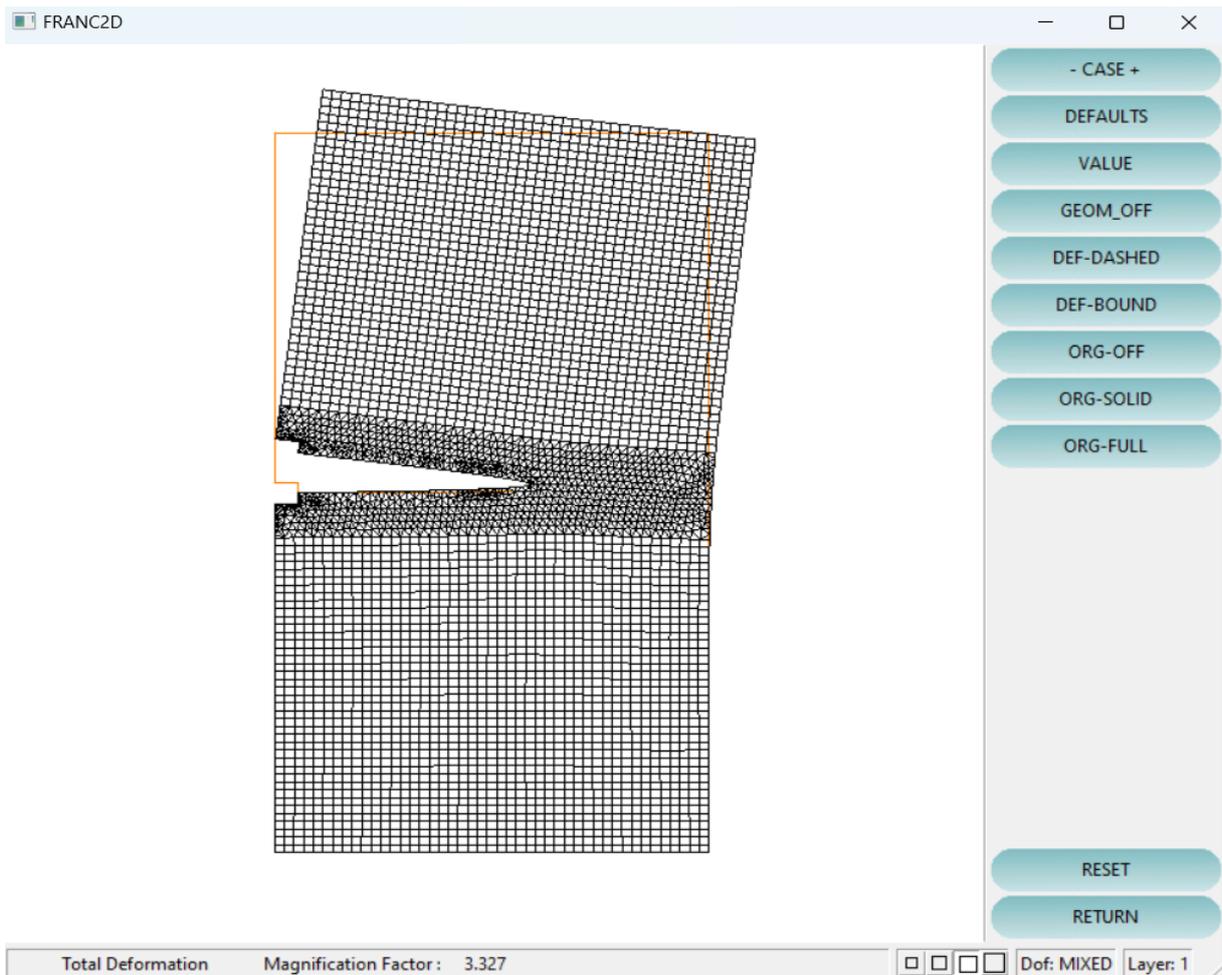


Figure A-24 : déformation de la pièce

Cas du (U)

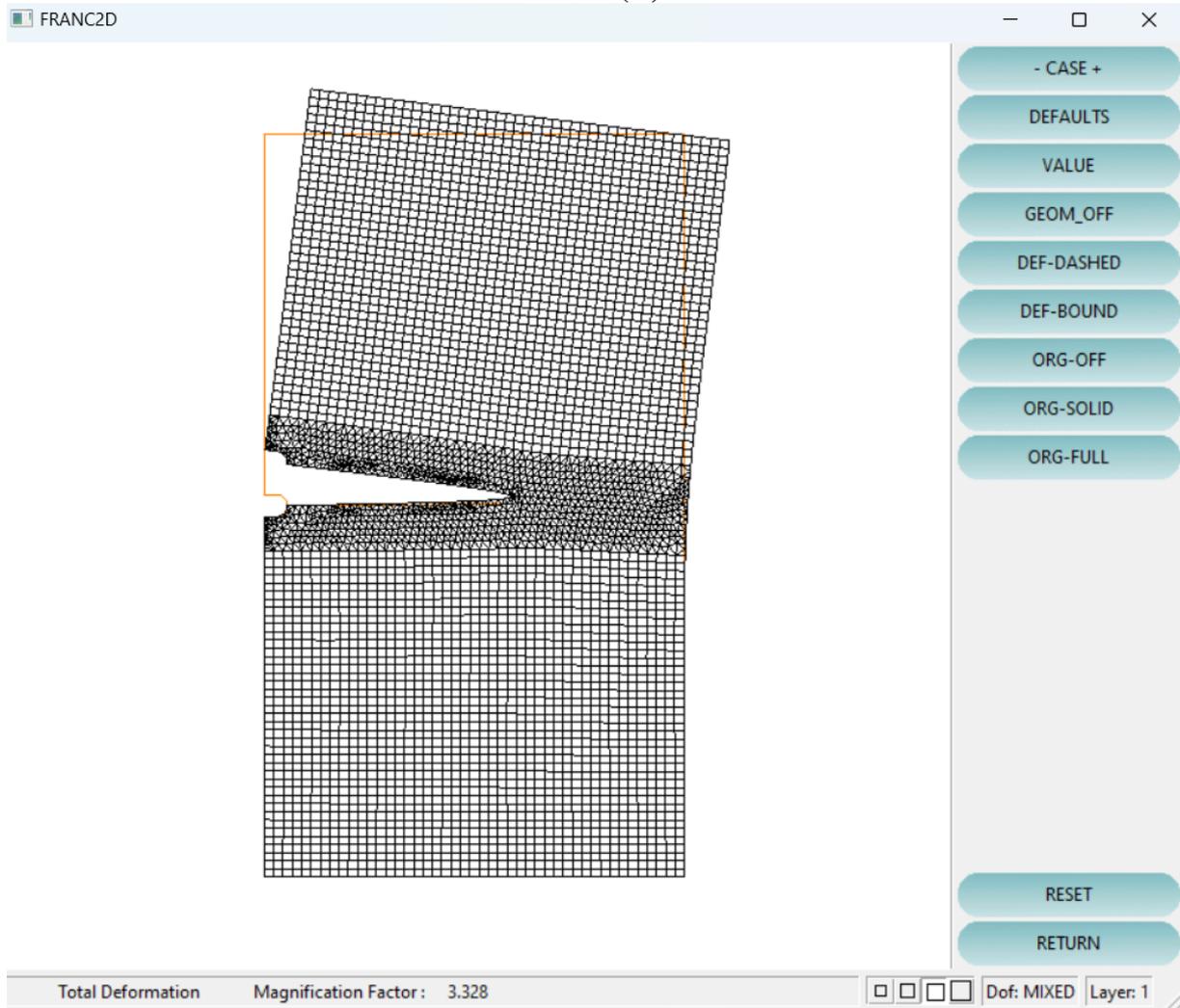


Figure A-25 : déformation de la pièce

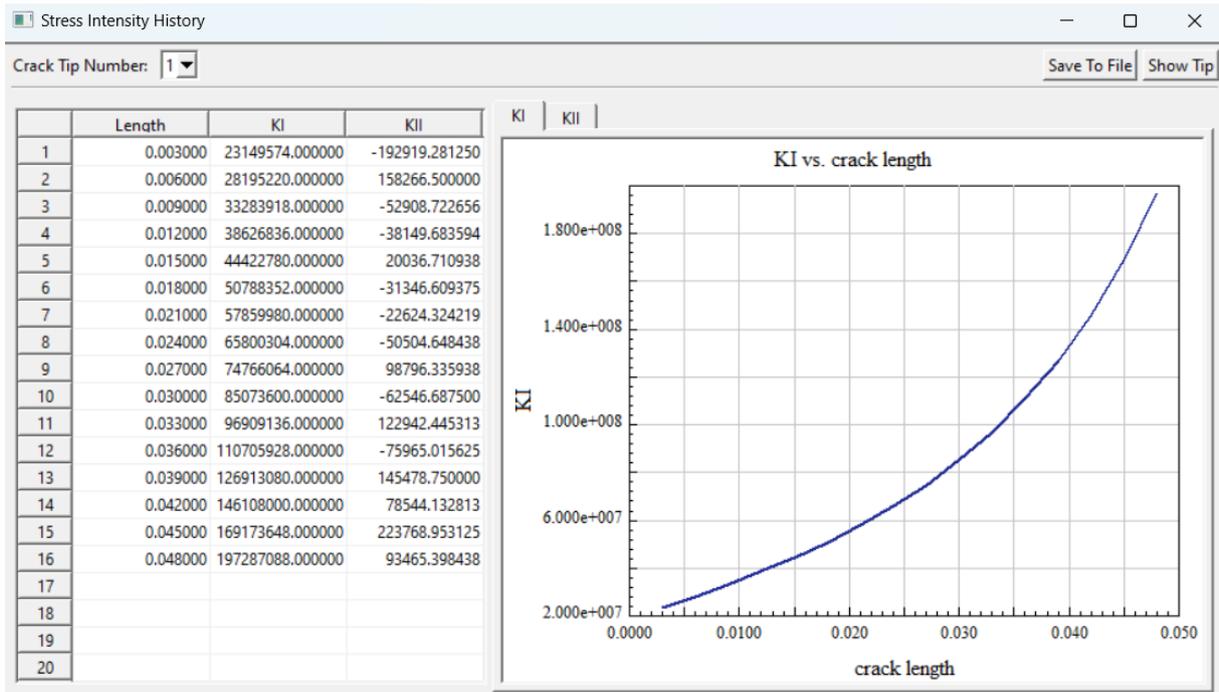


Figure A-26 : SIF history

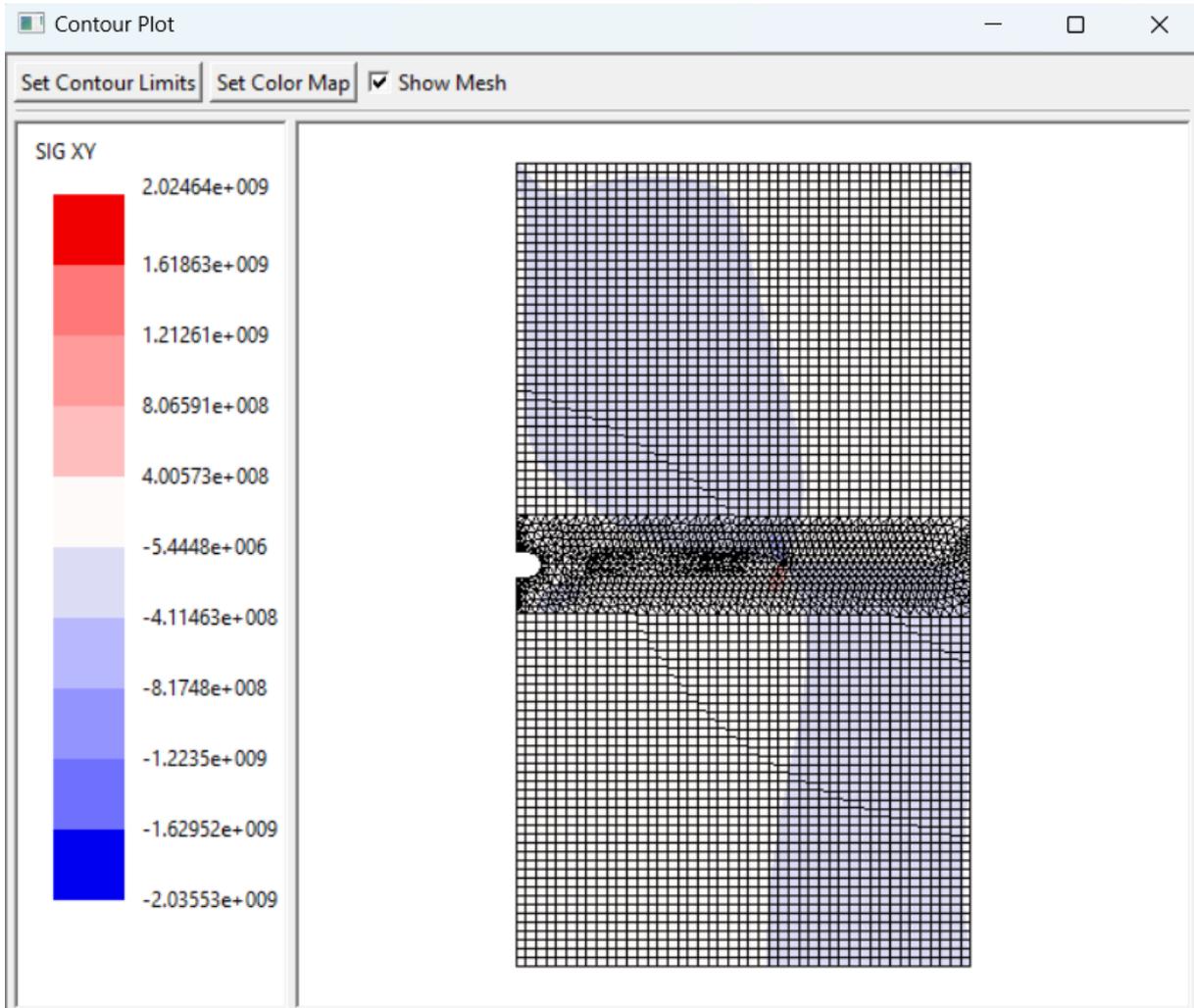


Figure A-27 : SIG XY

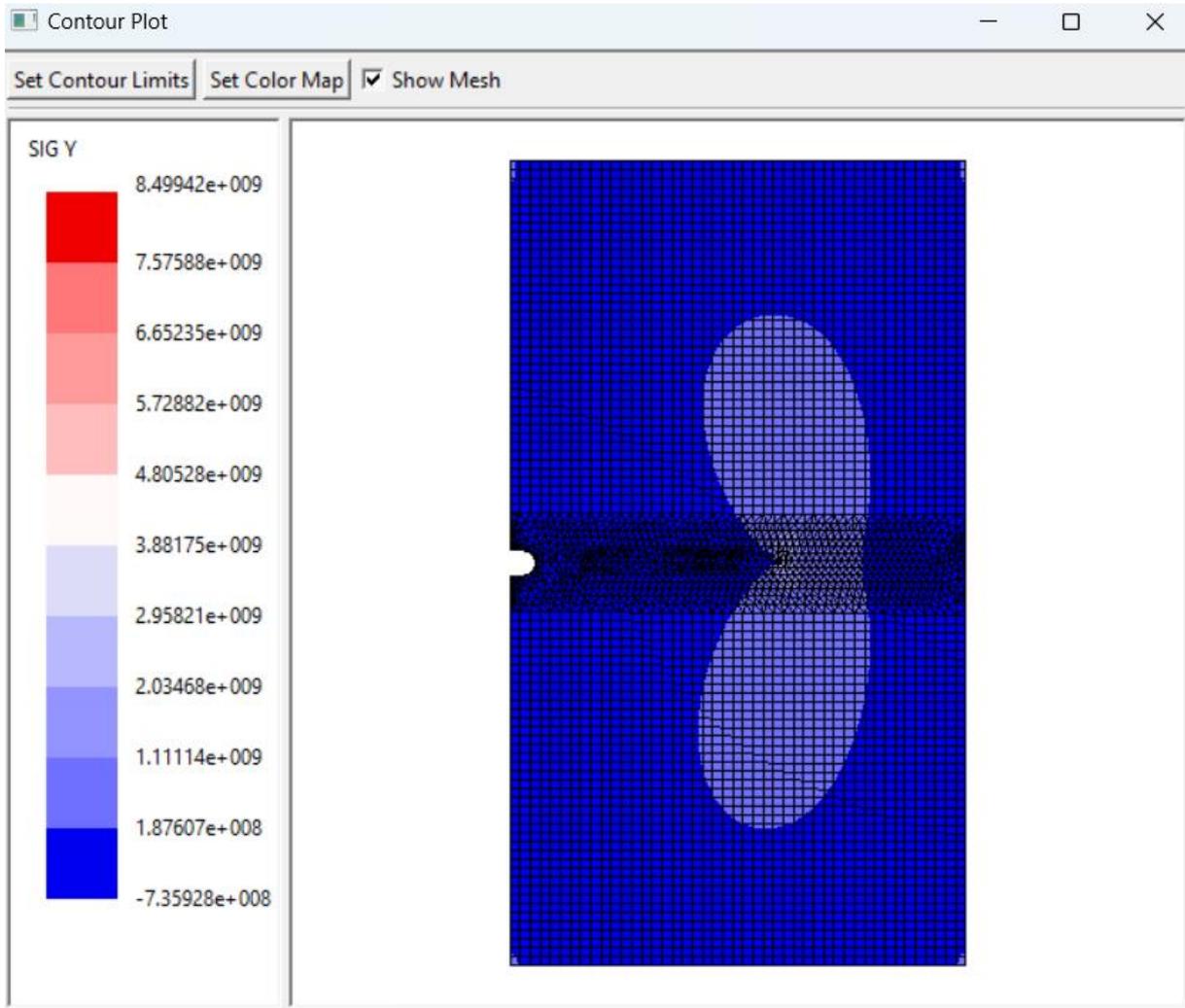


Figure A-28 : SIG Y

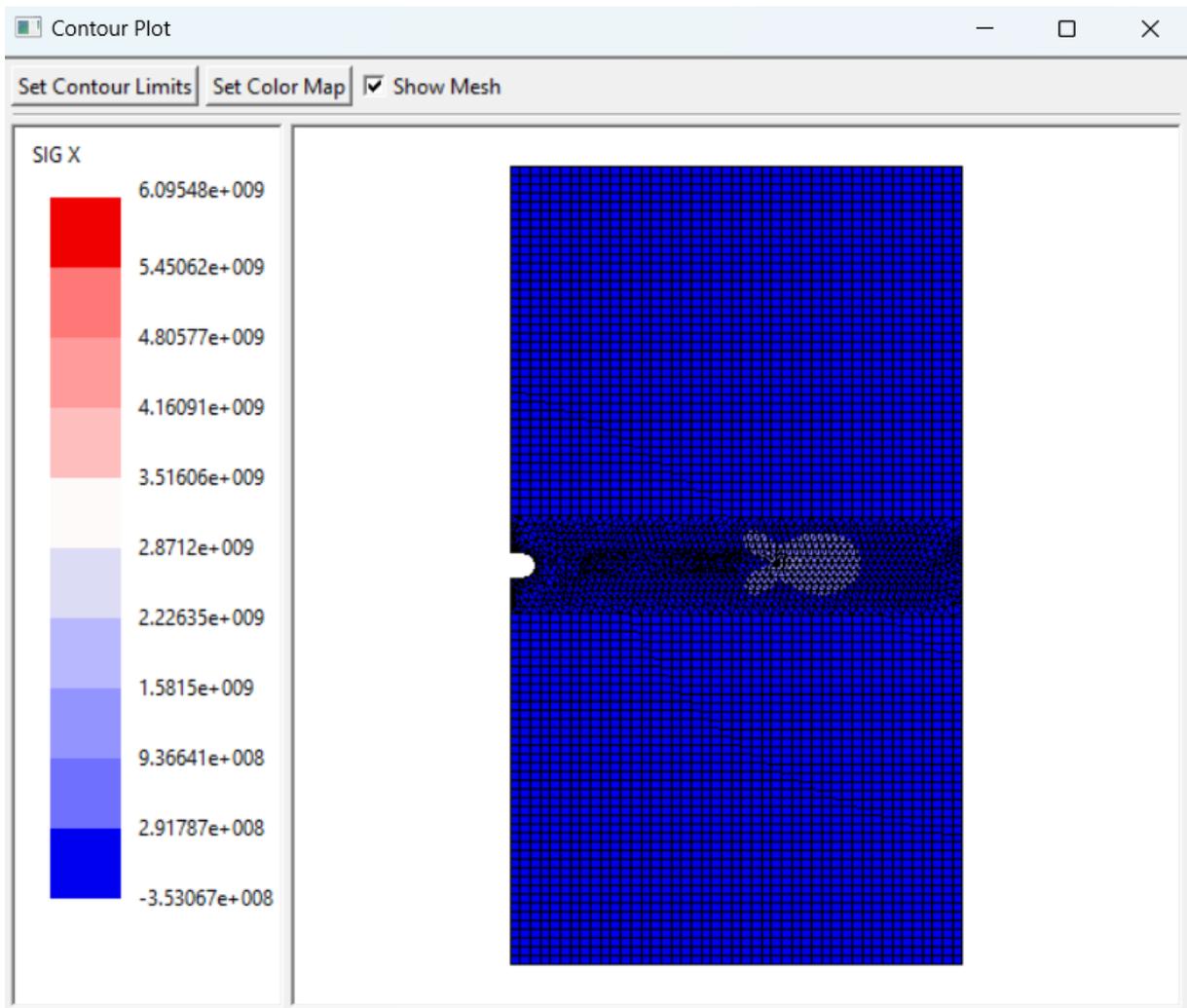


Figure A-29 : SIG X

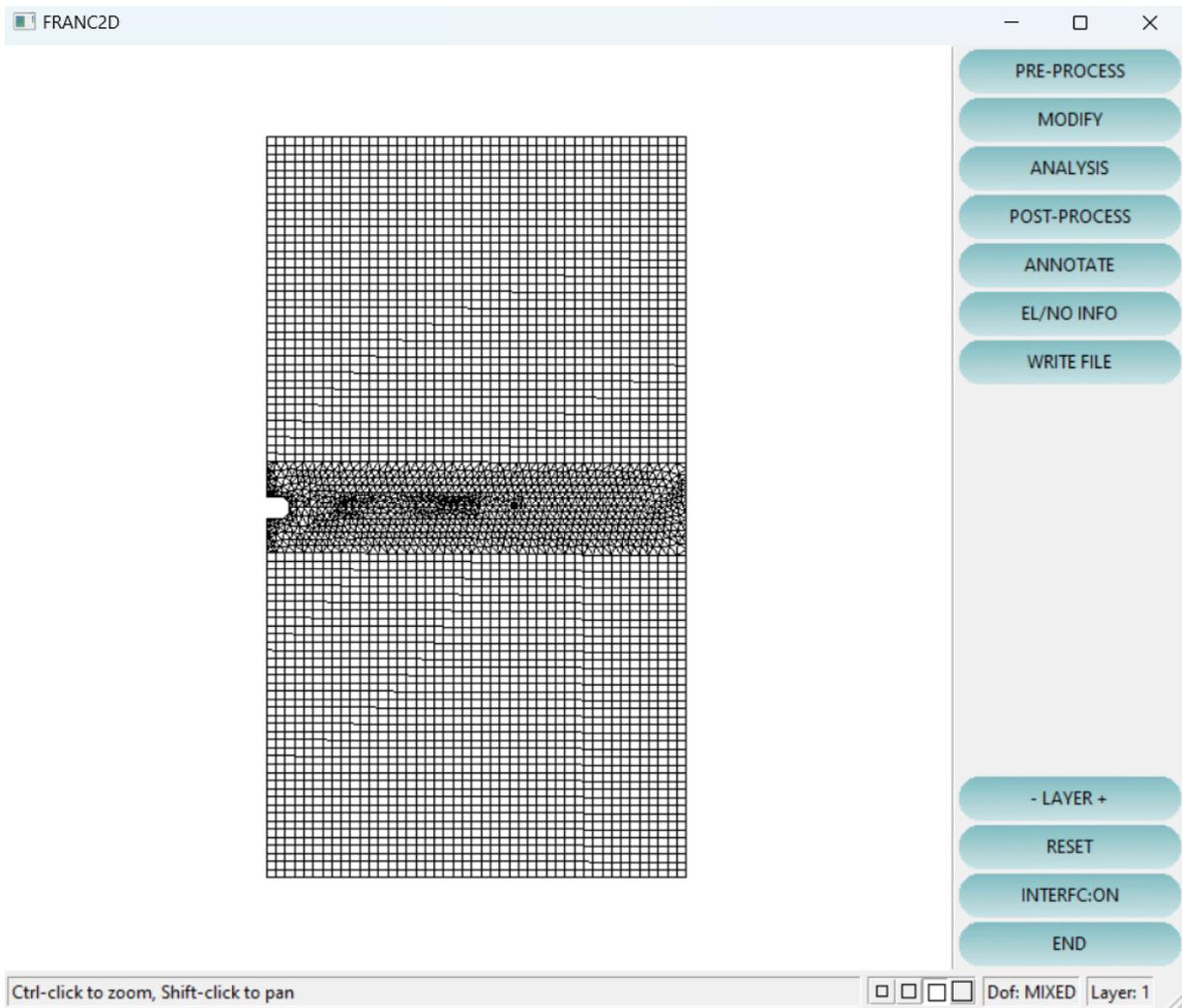


Figure A-30 : la pièce après la propagation

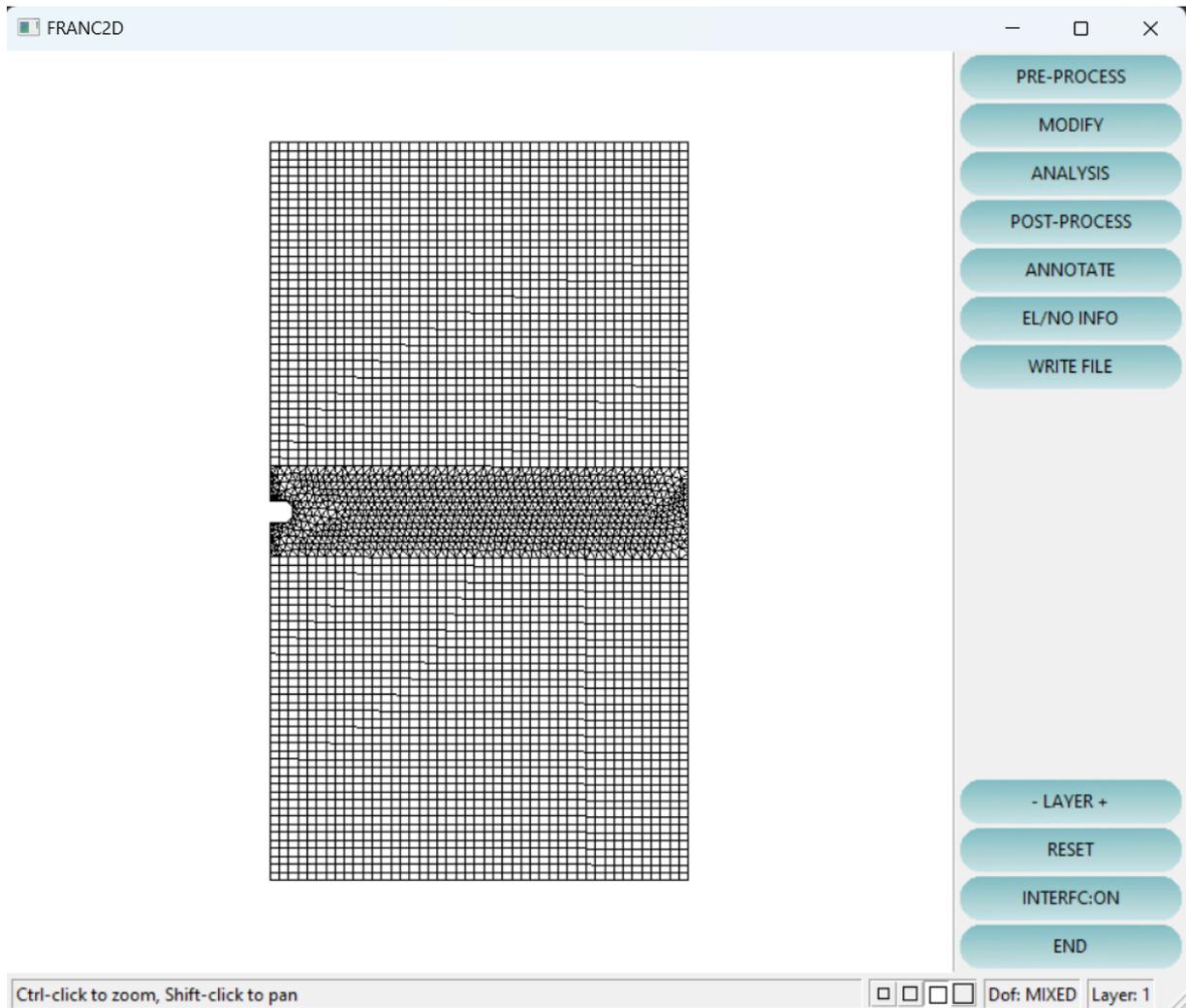


Figure A-31 : la pièce après la propagation

• Entaille en C:

Tableau A-1 : Valeurs de KI pour différentes longueurs de fissure

a (mm)	K _i (MPa.m ^{1/2})
3	23.2
6	28.2
9	33.3
12	38.6
15	44.4
18	50.7
21	57.7
24	65.6
27	74.6
30	84.8
33	96.6
36	110.3
39	126.3
42	145.4
45	168.3
48	196

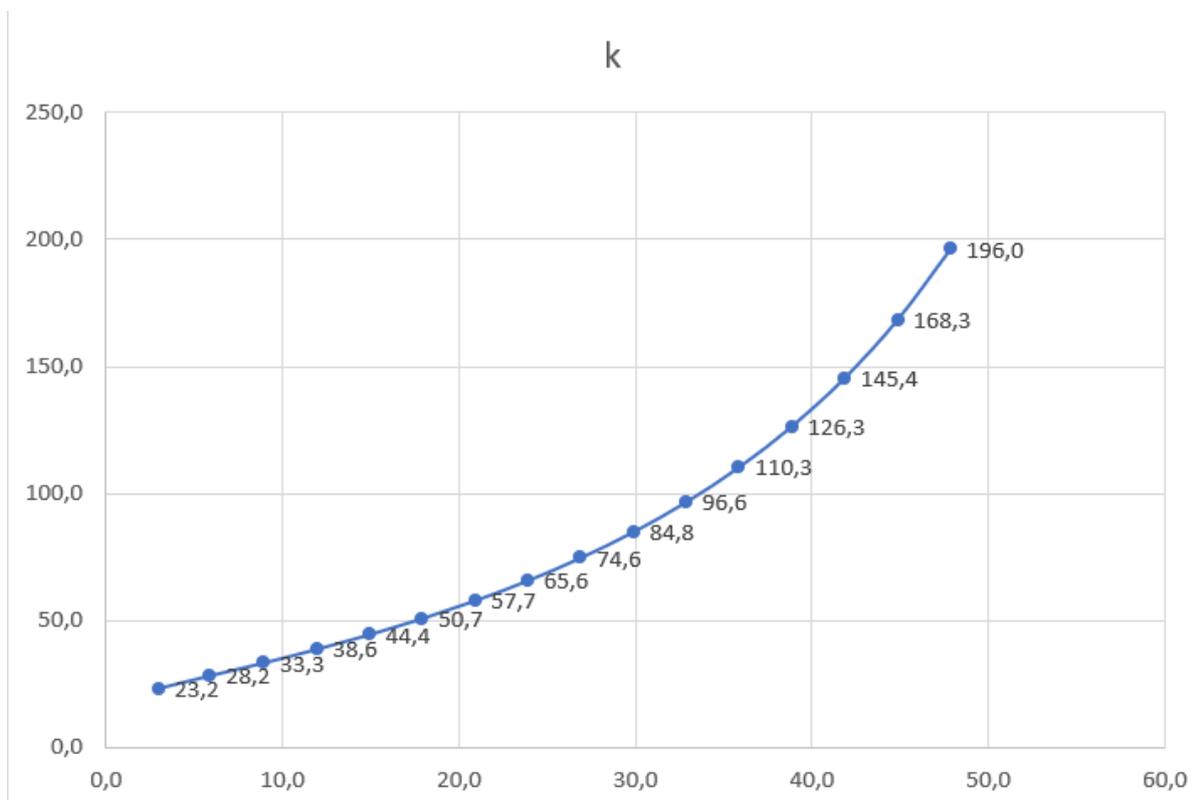


Figure A-32 : : Courbe de KI en fonction de a pour l'entaille en V

Entaille en U:

Tableau A-2 : Valeurs de KI pour différentes longueurs de fissure

a (mm)	K _i (MPa.m ^{1/2})
3	23.14
6	28.19
9	33.28
12	38.62
15	44.42
18	50.78
21	57.86
24	65.8
27	74.76
30	85.07
33	96.9
36	110.7
39	126.91
42	146.1
45	169.17
48	197

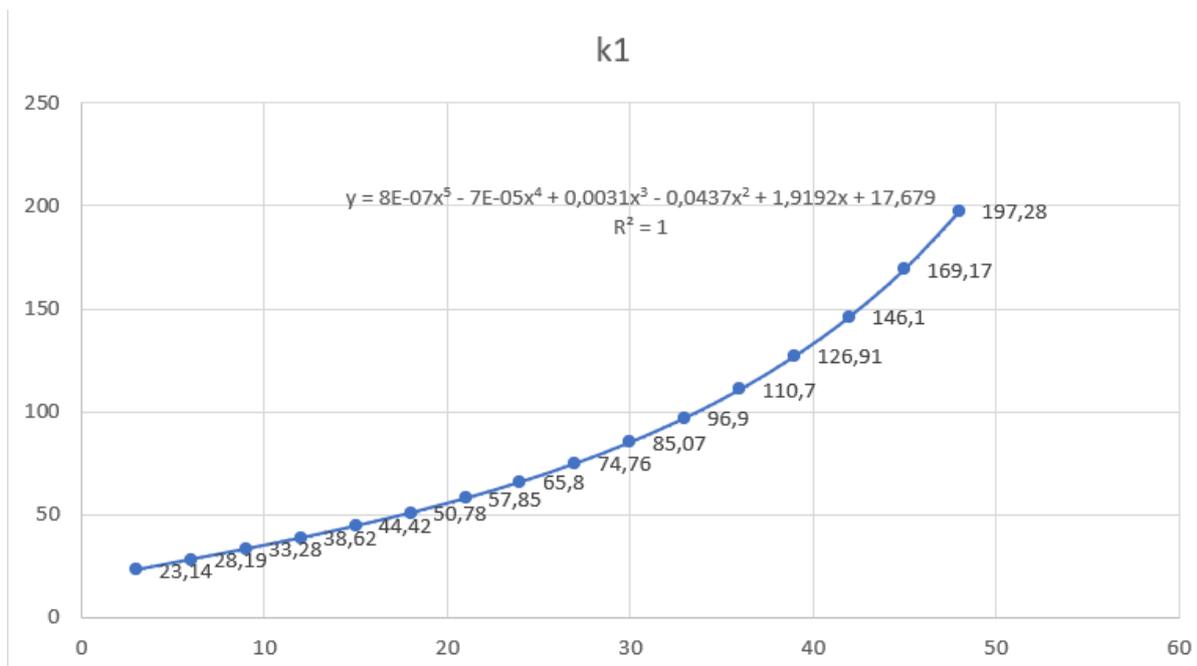


Figure A-33 : : Courbe de KI en fonction de a pour l'entaille en V

Entaille en S:

Tableau A-3 : Tableau 14 : Valeurs de KI pour différentes longueurs de fissure

a (mm)	K _i (MPa.m ^{1/2})
3	23.03
6	28.19
9	33.27
12	38.64
15	44.43
18	50.79
21	57.82
24	65.77
27	74.79
30	85.07
33	96.96
36	110.72
39	126.88
42	146.1
45	169.17
48	197.21

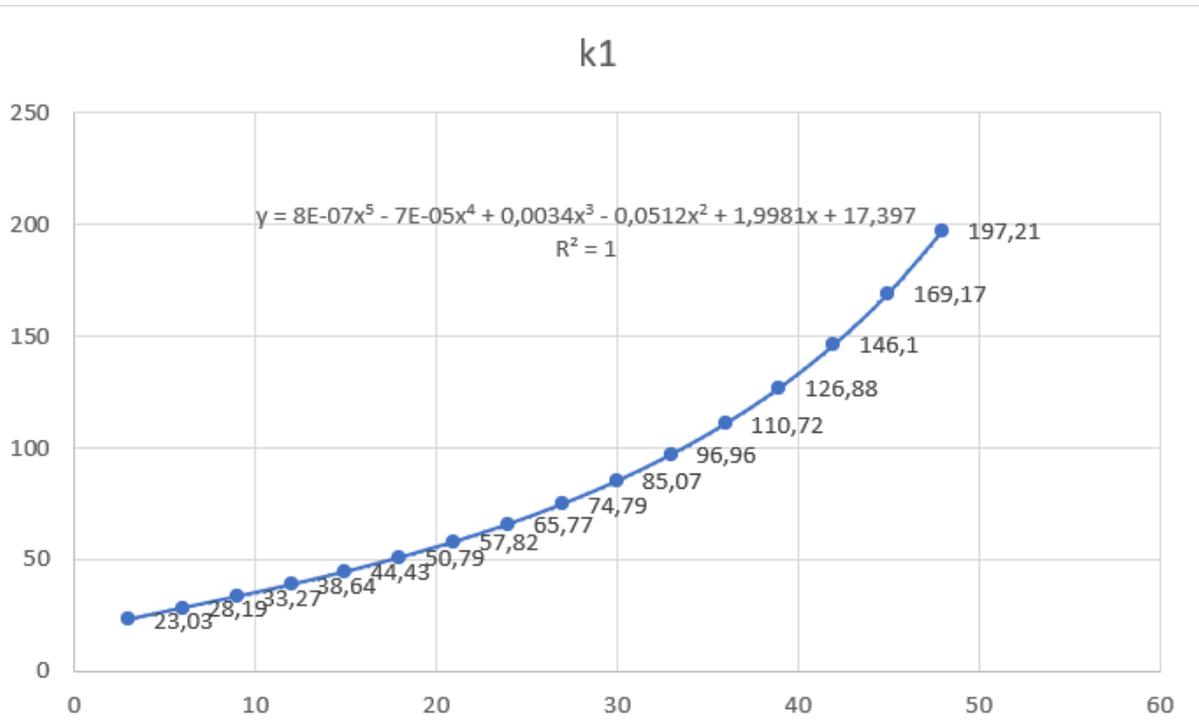
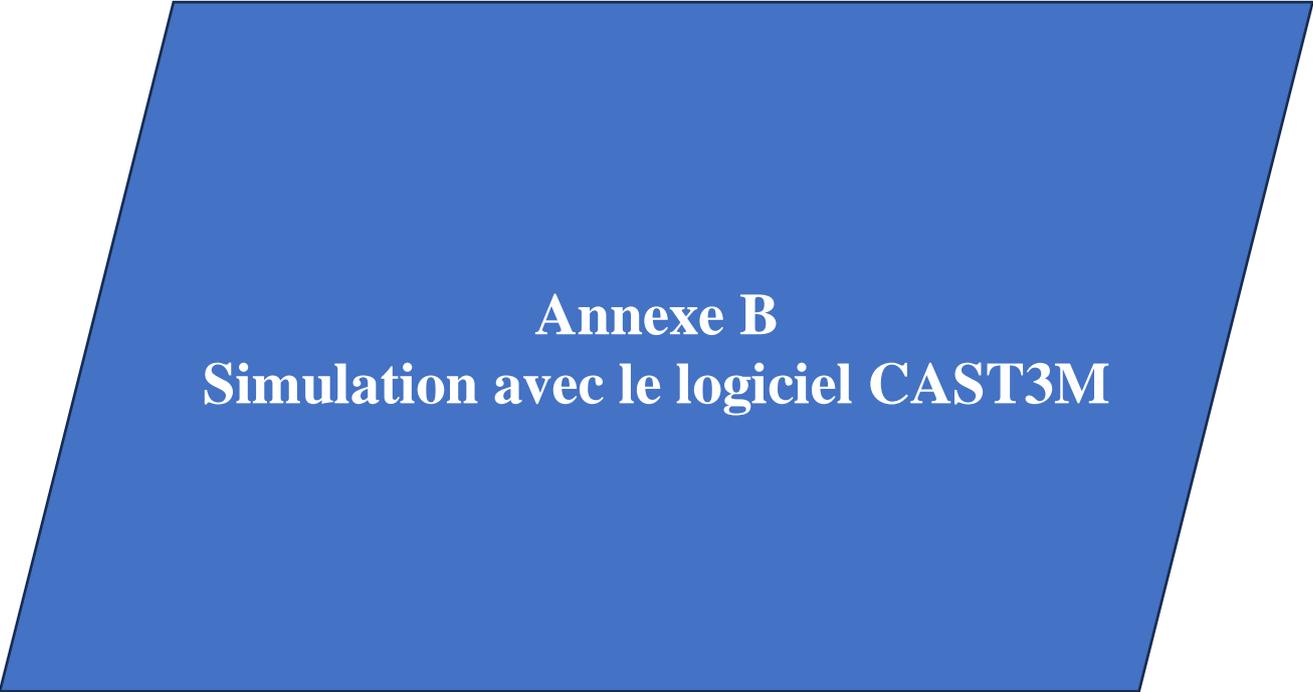


Figure A-34 : Courbe de KI en fonction de a pour l'entaille en V



Annexe B
Simulation avec le logiciel CAST3M

Annexe B Simulation avec le logiciel CAST3M

• Simulation d'entaille en V avec fissure de longueur $a = 3\text{mm}$

```
*
OPTI DIME 2 ELEM TRI3 MODE PLAN CONT ;
TITRE 'EPROUVETTE A ENTAILLE EN V - 3mm' ;
*
*DENSITE DES MAILLAGES :
*
DE0=1. ;
DENS DE0 ;
DE1=1. ;
DE2= (20.*DE1) ;
*
* POINTS :
*
P1=-5. -80. ;
P2=85. -80. ;
P3=85. 80. ;
P4=-5. 80. ;
P5=-5. 2.5 ;
P7=-0.1 0.05 ;
P0=3. 0. ;
P8=-0.1 -0.05 ;
P6=-5. -2.5 ;
*
* LIGNES :
*
L1=P1 D P2 ;
L2=P2 D P3 ;
L3=P3 D P4 ;
L4=P4 D P5 ;
L5=P5 D P7 ;
L6=P8 D P6 ;
L7=P6 D P1 ;
L8=P7 D P0 ;
L9=P0 D P8 ;
*
*CONTOUR DE L'EPROUVETTE :
*
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L6 ET L7 ET L8 ET L9;
TRAC CONT1;
*
*SURFACE DE L'EPROUVETTE :
*
S1=SURF PLAN CONT1 ;
TRAC S1 ;
```

```

*
* CONDITIONS AUX LIMITES :
*
CLS1 = BLOQ DEPL L1;
*
* MODELE MECANIQUE :
*
MO =MODE S1 MECANIQUE ELASTIQUE ;
*
* MATERIAU :
*
MA =MATE MO YOUN (72.e9) NU (0.33) RHO(2650) ;
*
* FORCE :
*
F1 = FORC (0. 45000.) L3;
*
* RIGIDITE :
*
RIG1 = RIGI MO MA;
*
* RESOLUTION :
*
UU = RESO (RIG1 ET CLS1) F1;
*
*TRACE DES REACTIONS ET FORCE APPLIQUEE :
*
VEC1=VECTEUR F1 FX FY ROUG ;
REA=REACT UU (RIG1 ET CLS1);
VEC2=VECTEUR REA FX FY BLEU;
TITR 'REACTIONS AUX APPUIS ET FORCE APPLIQUEE' ;
TRAC (VEC1 ET VEC2) S1;
*
* DEFORMEE:
*
DEF0 = DEFO S1 UU 0. BLEU;
DEF1 = DEFO S1 UU ROUG;
TRAC (DEF0 ET DEF1);
*
*VISUALISATION DES DEPLACEMENTS :
*
*OVEC = VECT UU AMP ;
*TRAC OVEC S1;
*
*CONSTRAINTES :
*
SIG1 = SIGM MO MA UU ;
TRAC SIG1 MO MA S1;
*
*CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES
*APPEL DE LA PROCEDURE SIF :

```

```

*
t1 = TABL;
t1.'FRTFISS' = P0;
t1.'LEVRE_1' = L8;
t1.'MODMIXTE' = VRAI;
t1.'LEVRE_2' = L8;
SIF MA UU t1;
K1sif = t1. 'K1';

*
L13=P2 D P7 ;
UUX = EXCO UU UX UX ;
UUX = REDU UUX L13 ;
EV1 = EVOL (ROUGE) CHPO UUX UX L13 ;
DESS EV1 ;
*
FIN ;
*

```

• **Simulation d'entaille en C avec fissure de longueur a = 3mm**

```

*
OPTI DIME 2 ELEM TRI3 MODE PLAN CONT ;
TITRE 'EPROVETTE A ENTAILLE EN C 0.1mm - 3mm' ;
*
*DENSITE DES MAILLAGES :
*
DE0=1. ;
DENS DE0 ;
DE1=1. ;
DE2= (20.*DE1) ;
*
* POINTS :
*
P1=-5. -80. ;
P2=85. -80. ;
P3=85. 80. ;
P4=-5. 80. ;
P5=-5. 5 ;
P0=3. 0.;
P6=-5. -5 ;
PC=-5. 0;
P7=-0.1 0.995;
P8=-0.1 -0.995;
*
* LIGNES :
*
L1=P1 D P2 ;
L2=P2 D P3 ;

```

```

L3=P3 D P4 ;
L4=P4 D P5 ;
LC1=CERC P5 PC P7;
LC2=CERC P8 PC P6;
L5=P7 D P0 ;
L6=P0 D P8 ;
L7=P6 D P1 ;
*
*CONTOUR DE L'EPROUVETTE :
*
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET LC1 ET LC2 ET L5 ET L6 ET
L7;
TRAC CONT1;
*
*SURFACE DE L'EPROUVETTE :
*
S1=SURF PLAN CONT1 ;
TRAC S1 ;
*
* CONDITIONS AUX LIMITES :
*
CLS1 = BLOQ DEPL L1;
*
* MODELE MECANIQUE :
*
MO =MODE S1 MECANIQUE ELASTIQUE ;
*
* MATERIAU :
*
MA =MATE MO YOUN (72.e9) NU (0.33) RHO(2650) ;
*
* FORCE :
*
F1 = FORC (0. 45000.) L3;
*
* RIGIDITE :
*
RIG1 = RIGI MO MA;
*
* RESOLUTION :
*
UU = RESO (RIG1 ET CLS1) F1;
*
*TRACE DES REACTIONS ET FORCE APPLIQUEE :
*
VEC1=VECTEUR F1 FX FY ROUG ;
REA=REACT UU (RIG1 ET CLS1);
VEC2=VECTEUR REA FX FY BLEU;
TITR 'REACTIONS AUX APPUIS ET FORCE APPLIQUEE' ;
TRAC (VEC1 ET VEC2) S1;
*

```

```

* DEFORMEE:
*
DEFO = DEFO S1 UU 0. BLEU;
DEF1 = DEFO S1 UU ROUG;
TRAC (DEFO ET DEF1);
*
*VISUALISATION DES DEPLACEMENTS :
*
*OVEC = VECT UU AMP ;
*TRAC OVEC S1;
*
*CONSTRAINTES :
*
SIG1 = SIGM MO MA UU ;
TRAC SIG1 MO MA S1;
*
*CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES
*APPEL DE LA PROCEDURE SIF :
*
t1 = TABL;
t1.'FRTFISS' = P0;
t1.'LEVRE_1' = L5;
t1.'MODMIXTE' = VRAI;
t1.'LEVRE_2' = L5;
SIF MA UU t1;
K1sif = t1. 'K1';

FIN ;

```

- **Simulation d'entaille en U avec fissure de longueur a = 3mm**

```

*
OPTI DIME 2 ELEM TRI3 MODE PLAN CONT ;
TITRE 'EPROVETTE A ENTAILLE EN U - 3mm' ;
*
*DENSITE DES MAILLAGES :
*
DE0=1. ;
DENS DE0 ;
DE1=1. ;
DE2= (20.*DE1) ;
*
* POINTS :
*
P1=-5. -80. ;
P2=85. -80. ;
P3=85. 80. ;

```

```

P4=-5. 80. ;
P5=-5. 2.5 ;
P6=-2.5 2.5;
P0=3. 0;
PC=-2.5 0. ;
P7=-2.5 -2.5;
P8=-5. -2.5 ;
P9=-0.1 0.7;
P10=-0.1 -0.7;
*
* LIGNES :
*
L1=P1 D P2 ;
L2=P2 D P3 ;
L3=P3 D P4 ;
L4=P4 D P5 ;
L5=P5 D P6 ;
LC1=CERC P6 PC P9 ;
LC2=CERC P10 PC P7 ;
L7=P7 D P8 ;
L8=P8 D P1 ;
L9=P9 D P0;
L10=P0 D P10;
*
*CONTOUR DE L'EPROUVETTE :
*
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET LC1 ET LC2 ET L7 ET L8
ET L9 ET L10;
TRAC CONT1;
*
*SURFACE DE L'EPROUVETTE :
*
S1=SURF PLAN CONT1 ;
TRAC S1 ;
*
* CONDITIONS AUX LIMITES :
*
CLS1 = BLOQ DEPL L1;
*
* MODELE MECANIQUE :
*
MO =MODE S1 MECANIQUE ELASTIQUE ;
*
* MATERIAU :
*
MA =MATE MO YOUN (72.e9) NU (0.33) RHO(2650) ;
*
* FORCE :
*
F1 = FORC (0. 45000.) L3;
*

```

```

* RIGIDITE :
*
RIG1 = RIGI MO MA;
*
* RESOLUTION :
*
UU = RESO (RIG1 ET CLS1) F1;
*
*TRACE DES REACTIONS ET FORCE APPLIQUEE :
*
VEC1=VECTEUR F1 FX FY ROUG ;
REA=REACT UU (RIG1 ET CLS1);
VEC2=VECTEUR REA FX FY BLEU;
TITR 'REACTIONS AUX APPUIS ET FORCE APPLIQUEE' ;
TRAC (VEC1 ET VEC2) S1;
*
* DEFORMEE:
*
DEF0 = DEFO S1 UU 0. BLEU;
DEF1 = DEFO S1 UU ROUG;
TRAC (DEF0 ET DEF1);
*
*VISUALISATION DES DEPLACEMENTS :
*
*OVEC = VECT UU AMP ;
*TRAC OVEC S1;
*
*CONSTRAINTES :
*
SIG1 = SIGM MO MA UU ;
TRAC SIG1 MO MA S1;
*
*CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES
*APPEL DE LA PROCEDURE SIF :
*
t1 = TABL;
t1.'FRTFISS' = P0;
t1.'LEVRE_1' = L9;
t1.'MODMIXTE' = VRAI;
t1.'LEVRE_2' = L9;
SIF MA UU t1;
K1sif = t1. 'K1';
*
*
FIN ;
*

```

• **Simulation d'entaille en S avec fissure de longueur $a = 3\text{mm}$**

```
*
OPTI DIME 2 ELEM TRI3 MODE PLAN CONT ;
TITRE 'EPROUVETTE A ENTAILLE EN S - 3mm' ;
*
*DENSITE DES MAILLAGES :
*
DE0=1. ;
DENS DE0 ;
DE1=1. ;
DE2= (20.*DE1) ;
*
* POINTS :
*
P1=-5. -80. ;
P2=85. -80. ;
P3=85. 80. ;
P4=-5. 80. ;
P5=-5. 2.5;
P0=3. 0;
P6=0. 2.5;
P7=0. -2.5;
P8=-5. -2.5;
*
* LIGNES :
*
L1=P1 D P2 ;
L2=P2 D P3 ;
L3=P3 D P4 ;
L4=P4 D P5 ;
L5=P5 D P6 ;
L61=P6 D P0;
L62=P0 D P7;
L7=P7 D P8 ;
L8=P8 D P1 ;
*
*CONTOUR DE L'EPROUVETTE :
*
CONT1=L1 ET L2 ET L3 ET L4 ET L5 ET L61 ET L62 ET L7 ET
L8;
TRAC CONT1;
*
*SURFACE DE L'EPROUVETTE :
*
S1=SURF PLAN CONT1 ;
TRAC S1 ;
*
* CONDITIONS AUX LIMITES :
*
CLS1 = BLOQ DEPL L1;
```

```

*
* MODELE MECANIQUE :
*
MO =MODE S1 MECANIQUE ELASTIQUE ;
*
* MATERIAU :
*
MA =MATE MO YOUN (72.e9) NU (0.33) RHO(2650) ;
*
* FORCE :
*
F1 = FORC (0. 45000.) L3;
*
* RIGIDITE :
*
RIG1 = RIGI MO MA;
*
* RESOLUTION :
*
UU = RESO (RIG1 ET CLS1) F1;
*
*TRACE DES REACTIONS ET FORCE APPLIQUEE :
*
VEC1=VECTEUR F1 FX FY ROUG ;
REA=REACT UU (RIG1 ET CLS1);
VEC2=VECTEUR REA FX FY BLEU;
TITR 'REACTIONS AUX APPUIS ET FORCE APPLIQUE' ;
TRAC (VEC1 ET VEC2) S1;
*
* DEFORMEE:
*
DEF0 = DEFO S1 UU 0. BLEU;
DEF1 = DEFO S1 UU ROUG;
TRAC (DEF0 ET DEF1);
*
*VISUALISATION DES DEPLACEMENTS :
*
*OVEC = VECT UU AMP ;
*TRAC OVEC S1;
*
*CONSTRAINTES :
*
SIG1 = SIGM MO MA UU ;
TRAC SIG1 MO MA S1;
*
*CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITE DE CONTRAINTES
*APPEL DE LA PROCEDURE SIF :
*
t1 = TABL;
t1.'FRTFISS' = P0;
t1.'LEVRE_1' = L61;

```

```
t1.'MODMIXTE' = VRAI;  
t1.'LEVRE_2' = L61;  
SIF MA UU t1;  
K1sif = t1. 'K1';
```

```
*
```

```
*
```

```
FIN ;
```

```
*
```