REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle
Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

Etude numérique et expérimentale des défauts géométriques dans les turbines de la production pharmaceutique et leur solution de réparation.

Présenté par

Fers Fatima zohra

Roubahi Fissa wafa

Proposé et Dirigé par

Dr. ALOUAOUI Redha

Dr. BOUKORTT Hocine

Promotion 2023

REMERCIMENT

Nous tenons à remercier sincèrement Docteur BOUKORTT Hocine, qui en tant que directeur de mémoire, s'est Toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la Réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer sans n'oublier Docteur ALOUAOUI Redha qui nous a orienté au cours de cette étude

On ne peut s'arrêter là sans évoquer tout le corps enseignant du département génie des procédés.

Enfin, à ceux qui ont contribué et collaboré de près ou de loin à l'élaboration de cette étude.

DEDICASE

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son
Soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils,
Pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, elle reçoit à
Travers ce travail aussi modeste, l'expression de mes
Sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de
Longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à
Avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail
Porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le
Soutien permanent venu de toi

Mes frères et mon mari qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de
persévérance, de courage et de générosité.

wafaa

DEDICASE

Je dédie ce travail à mon cher père.

Tu as joué un rôle majeur dans mon encouragement et mon

Inspiration tout au long de ma vie. Tu m'as appris les valeurs de la

Patience et de l'effort dans tout ce que je fais. Je ne peux pas

Exprimer suffisamment ma gratitude pour tout l'amour et le soutien

Que tu m'as apportés.

Je dédie ce travail à ma chère mère qui m'a aidé par ses prières à

Accomplir cette tâche. Elle a été une source de soutien et

D'encouragement. Grâce à elle, j'ai pu réaliser ce que je suis

Aujourd'hui.

À la famille, mes frères et mes camarades d'études.

Zola

Résumé :

Dans l'industrie pharmaceutique les matériaux utilisés sont des matériaux inoxydables par conséquence ils sont très cher, à cet effet leur réparation doit être .réalisé mieux de la remplacé par une autre.

Dans notre étude on va faire une étude numérique pour voir ou ce provoque les défauts dans la turbine et par la suite on fait une étude expérimentale pour la réparation de ses défauts.

Mots clés : ANSYS, Soudage par tig ,essais de traction .

ملخص :

المواد المستخدمة في صناعة المستحضرات الصيدلانية هي مواد غير قابلة للصدأ وبالتالي فهي باهظة الثمن، ولهذا الغرض يجب أن يتم إصلاحها بشكل أفضل من استبدالها بأخرى.

في دراستنا سنقوم بدراسة عددية لنرى أين تتسبب أعطال التوربين ثم نقوم بدراسة تجريبية لإصلاح أعطال التوربين.

الكلمات المفتاحية: ANSYS ، لحام tig ، اختبار الشد.

Summary :

In the pharmaceutical industry the materials used are stainless materials therefore they are very expensive, for this purpose their repair must be carried out better than replaced by another.

In our study we will do a numerical study to see where it causes the faults in the turbine and then we do an experimental study for the repair of its faults.

Keywords: ANSYS, tig welding, tensile testing

TABLE DES MATIERS page

RESUME…… -

TABLE DE MATIERE……. -

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX…….. -

INTRODUCTION …… 1

CHAPITRE

1. Présentation de l'entreprise…… 4

2. Historique…….. **4**

3.Présentation du site de production de Médéa…….. **5**

4. Infrastructures…… **6**

5. Locaux et équipement…… **7**

5.1. Zone de fabrication et de conditionnement……... **7**

5.1.1. de production Bâtiment « A »…… **7**

a. Production de la forme sèche (Comprimés et gélules)…….. **7**

b. Production de la forme sèche (poudre pour suspension) :……. **8**

c. Production des ampoules solvants (Eau pour préparation injectables)….. **8**

d. Production des poudres pour préparation injectable…….. **8**

[. 5.1.2. Atelier de production Bâtiment « B »…… **8**

a. Production de la forme sèche (Comprimés et gélules)…….. **8**

b. Production sirop liquide……..... **9**

c. Production des ampoules solvants (Eau pour préparation injectables et

alcool benzylique)…….. **9**

d. Production des solutions injectables…….. **9**

e. Production des pommades dermiques…… **10**

6. Service maintenance…….. 10

6.1.Maintenance centrale……... **10**

6.2.Maintenance production……... **10**

7. La sureté de fonctionnement…….. 11

8. Maintenabilité……..... 13

9. Maintenance……... 13

a- Maintenance et concepteur…….. 14

b- Maintenance et fabricant du bien (constructeur)…… 14

c- Maintenance et exploitant…… 14

10. Les différentes formes de maintenance…… 15

CHAPITRE II

1.Introduction…… 18

2.1. Assemblage par la méthode FSW……... 18

2.2.réparation d'engrenages et de pignons…… 19

2.3.Réparation par boulonnage…….. 19

2.4 La réparation par soudage..... 20

2.5. La réparation par peinture en céramique……. 21

2.6. Réparation des pièces de point avec rechargement par soudage en tig avec un préchauffage…… 22

CHAPITRE III

I. introduction……..... 24

2. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS…… 25

2.1 Le maillage…….. 26

2.2 Étude sur les CFD ……... 26

2 .3 Étude structurelle ……... 27

2.4 Création de la fissure dans le congé de l'aube…….. 29

2.5. Facteur d'intensité de contrainte sur la distribution des fissures……. 30

2.6 Facteur d'intensité de contrainte équivalent……. 33

CHAPITRE V

1. Introduction …… 36

2. Preparation des éprouvettes…… 37

3. principe de l'essai traction…….. 37

4. Les propriétés mécaniques de l'inconel 718……... 38

CONCLUSION 43

REFERENCES 44

Liste Des Figure :

Figure .1. saidal de médéa

Figure .2. Situation de saidal médéa

Figure .3. répartition des directions et cellules de saidal Médéa

Figure .4. : phases du cycle de vie d'un matériel et maintenance.

Figure 5. Organigramme de maintenance

Figure .06. assemblage par la méthode FSW [3]

Figure .7. Quelques exemples de réparation de pignons et d'engrenages. [4]

Figure .8. Réparation par boulonnage [5]

Figure .9. Réparation par soudure sur bande de roulement de bandage, galet, ou toutes pièces fissurées en fonte ou en acier.[7]

Figure 10. Technique de réparation des surfaces par la peinture en céramique

Figure 11. Rechargement par soudage Inconel avec préchauffage à 250 degrés

Figure.12) Taille de la géométrie et propriétés de notre étage de rotor .B) grossissement de la géométrie de la pale.

Figure.13 Le modèle d'aube de turbine à gaz. (a) Maillage structurel, (b) maillé utilisé pour CFD.

Figure 14 Maillage de domaine utilisé, (a) domaine à l'intérieur,

(b) domaine à l'extérieur

Figure .15 Le modèle d'aube de turbine à gaz. (a) Module structurel, (b) Maillé utilisé.

Figure..16 . La région critique de contrainte

Figure 17 :Présentation de la section de fissure

Figure .18 :Caractérisation du maillage des fissures semi-elliptiques.

Figure (19) . Les trois modes de facteur d'intensité de contrainte K1, KII, KIII

Figure (20) . facteur d'intensité de contrainte K1,

Figure (21) . facteur d'intensité de contrainte KII

Figure (22) . facteur d'intensité de contrainte K1,

Figure (23) . facteur d'intensité de contrainte Keq,

Figure (24) éprouvette normalisé

Figure (25) préparation des éprouvettes

Figure . 26 . Machine de l'essai de traction au niveau de centre de recherche

Figure 27 la courbe de traction pour une éprouvette type non chargé.

Figure .29. la courbe de traction pour une éprouvette type chargé par tig ok 61-30.

Plan de travail

Introduction générale

Chapitre I : présentation de l'entreprise

Chapitre II : recherche bibliographique sur les modes de réparation

Chapitre III : Simulation numérique

Chapitre V : Etude Expérimentale

Conclusion générale

INTRODUCTION

Dans l'industrie pharmaceutique pour des raisons d'hygiènes on utilises des machines inoxydables, a cette effet ils sont très cher et leur entretien coutes mieux de les remplacer.

Dans notre thème on va voir comment faire la réparation ,on utilisant une technique de remplissage par un métal qui ressemble au métal de base .on a pris comme model les aube d'un compresseur des gaz pharmaceutique .

Notre travail, a été synthétisé en un mémoire structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre nous avons fait une présentation générale sur l'entreprise (leur position et sa mission …), ensuite une présentation de service maintenance et leur tâche.

Le deuxième chapitre consacré d'une manière générale sur une recherche bibliographique sur les modes de réparation des pièces mécaniques dans l'objectif de minimiser le coup et augmenter la fiabilité (assuré la sureté de fonctionnement).

Dans le troisième chapitre on a fait une simulation numérique de la mécanique de la rupture pour décrire l'état des contraintes à l'extrémité d'une fissure. Ce concept est généralement utilisé avec l'hypothèse que le matériau est homogène, et dans un régime élastique linéaire isotrope. Il est notamment utilisé en tolérance aux dommages pour fournir des critères de rupture. Le facteur d'intensité des contraintes peut également être étendu aux matériaux qui présentent une plasticité confinée en pointe de fissure.

Le dernier chapitre une étude expérimentale sur le matériau étudié (inconel 718), nous avons fait des essais de traction sur trois types d'éprouvettes.

Des éprouvettes type non chargé, éprouvettes chargé par le tig OK63-30

Et les dernier chargé par le tig OK 61-30, dans l'objectif de voir lequel de ce type de tig est adapté pour la réparation.

CHAPITRE I:

Présentation de l’entreprise

1. **Présentation de l'entreprise**

SAIDAL est un groupe pharmaceutique généraliste algérien, et l'un des industries les plus rentables et importantes économiquement dans le monde. Il est leader dans la production des médicaments en Algérie.

La filiale Antibiotique de Médéa, dotée d'installations nécessaires à la fabrication de médicaments de haute qualité suivant les bonnes pratiques de fabrication (BPF) et les normes de qualité internationales.

2. Historique

L'Entreprise Nationale de Production Pharmaceutique avait pour mission d'assurer le monopole de la production et de la distribution des médicaments, produits assimilés et avait pour objectif d'approvisionner de manière suffisante et régulière le marché algérien.

L'Entreprise Nationale de Production Pharmaceutique, changea de dénomination en 1985 pour devenir SAÏDAL.

En 1989, suite à la mise en œuvre des réformes économiques, SAIDAL devient une Entreprise publique Economique (EPE) dotée de l'autonomie de gestion et fut choisie, parmi les premières entreprises nationales, pour devenir une société par actions (Spa).

Antibiotical est une filiale du groupe SAÏDAL née de la restructuration du groupe le 02.02.1998.

En 2015 et suite à la fusion par voie d'absorption, la filiale Antibiotical est devenue site de production de Médéa.



Figure .1. saidal de médéa

3. Présentation du site de production de Médéa :

Le site de production de Médéa enregistré (Registre de commerce secondaire/site) sous le numéro26/08-0342357 B 00 à Médéa en république Algérienne pour la production et la commercialisation des produits pharmaceutiques, est en situation légale et en accord avec les autorités sanitaires.

Le site de production Médéa est situé à 12km à l'ouest de la ville de Médéa, et à 6km environ de la localité chef-lieu d'Oued Harbil sur la route nationale N°18 reliant Médéa à El Khemis.



Figure .2. Situation de saidal médéa

Il s'étale sur une superficie de 31,3 hectares dont plus de 19 hectares sont couverts, et est distant d'Alger (Aéroport et port) de 100 km.

Le transport des matières premières se fait par voie terrestre.

Il est construit conformément à la norme de bonnes pratiques de fabrication.

Dans le site nous distinguons deux zones :

- ✓ Zone classée dangereuse du fait de l'utilisation de solvants et produits chimiques, les bâtiments sont construits en antidéflagrant (ADF).
- ✓ Zone normale d'activité et annexe.

4. Infrastructures

Spécialisé dans la fabrication des antibiotiques pénicilliniques et non pénicilliniques, dotée de toutes les installations nécessaires à la fabrication du médicament depuis l'obtention du principe actif jusqu'à la mise en forme galénique du produit à savoir ;

- ➢ Différents bâtiments de production de matières premières en vrac par fermentation et semi-synthèse (pénicilliniques et non-pénicilliniques) ;
  - Préparation des milieux de cultures
  - Fermentation industrielle
  - Extraction
  - Purification (stérile et non stérile)
  - Synthèse (stérile et non stérile)
- ➢ Deux bâtiments séparés de production des produits finis
  - Bâtiment de production des produits finis pénicillinique
  - Bâtiment de production des produits finis non pénicilliniques.
- ➢ Deux magasins de stockage matières premières et articles de conditionnement.
- ➢ Deux magasins de stockage produits finis.
- ➢ Un magasin de stockage pour les réactifs.

- Un magasin de stockage pièces de rechanges.

Une imprimerie pour la production des articles de conditionnement (conception, réalisation des étuis, prospectus).

- D'une station de production des utilités (vapeur, eau adoucie et eau déminéralisée) nécessaires aux fonctionnements de toutes les installations, appelée services généraux.
- D'un laboratoire de contrôle qualité doté de plusieurs laboratoires pour effectuer toutes les analyses et contrôles réglementaires.
- D'une station de récupération des solvants.
- D'une station de traitement des effluents pour la protection de l'environnement.
- D'un bâtiment de Maintenance Centrale.
- D'un bâtiment administratif.
- D'une cantine.

5. Locaux et équipement

5.1. Zone de fabrication et de conditionnement

Les locaux de production sont conçus de manière à assurer les conditions nécessaires en termesd'espace, d'ergonomie, d'éclairage et de sécurité.

L'accès est réglementé par les bonnes pratiques de fabrication de chaque bâtiment de production pour le personnel.

Un planning de nettoyage est établi et mis en œuvre pour tous les locaux.

5.1.1. de production Bâtiment « A »

Chaque atelier de production est constitué de plusieurs locaux :

a. Production de la forme sèche (Comprimés et gélules)

1- Un local est dédié pour la préparation des mélanges.

2- Un local compactage et de tamisage.

3- Deux locaux de remplissage des gélules (deux remplisseuses).

4- Deux locaux de compression (deux comprimeuses).

5- Local pour conditionnement du produit fini pour les comprimés.

6- Local de conditionnement du produit fini qui est composés de deux lignes de conditionnement, une pour les gélules et l'autre pour les comprimés.

7- Local de lavage.

8- Un local de maintenance.

b. Production de la forme sèche (poudre pour suspension) :

1- Un local est dédié pour la préparation des mélanges

2- Local pour remplissage des flacons et conditionnement du produit fini

3- Local de lavage

4- Un local de maintenance

c. Production des ampoules solvants (Eau pour préparation injectables)

1- Local de distillation d'eau déminéralisée.

2- Local de préparation et de déballage des ampoules vides (caisses).

3- Local de remplissage des ampoules, (ZAC zone à atmosphère contrôlé).

4- Loca des autoclaves.

5- Local de mirage des ampoules et étiquetages.

d. Production des poudres pour préparation injectable

1- Local stérile pour le remplissage des flacons injectables (zone à atmosphère contrôlé) qui est séparé en deux zones stériles

2- Loal de conditionnement secondaire pour chaque ligne et chaque ligne est constituée de deux bretelles de conditionnement.

5.1.2. Atelier de production Bâtiment « B »

Chaque atelier de production est constitué de plusieurs locaux :

a. Production de la forme sèche (Comprimés et gélules)

1- Trois locaux sont dédiés pour la préparation des mélanges

2- Un local de remplissage

3- Local de pelliculage

4- Local pour conditionnement

5- Local de lavage.

6- Un local de maintenance

b. Production sirop liquide :

1- Un local est dédié pour la préparation des mélanges sirops

2- Local pour remplissage des flacons et conditionnement du produit fini

3- Local de lavage.

4- Un local de maintenance

c. Production des ampoules solvants (Eau pour préparation injectables et alcool benzylique)

1- Local de distillation d'eau déminéralisée

2- Local de déballage des ampoules (caisses)

3- Local de remplissage des ampoules, (ZAC zone à atmosphère contrôlé)

4- Local des autoclaves

5- Local de mirage des ampoules et étiquetages

6- Un local de maintenance

d. Production des solutions injectables

1- Un local est dédié pour la préparation des mélanges

2- Local des réacteurs

3- Local de distillation d'eau déminéralisée commun

4- Local de déballage des ampoules (caisses)

5- Local de remplissage des ampoules, (ZAC zone à atmosphère contrôlé)

6- Local des autoclaves communs

7- Local de mirage des ampoules et étiquetages

8- Local de conditionnement

9- Un local de maintenance

10- Un local de lavage

e. Production des pommades dermiques

1- Un local est dédié pour la préparation des mélanges

2- Un local de conditionnement

6. Service maintenance

Chaque équipement possède un dossier historique où sont enregistrées toutes les opérations de maintenance curatives et préventives.

- Toute opération de maintenance est réalisée suite à une demande de travail établie par l'utilisateur.
- Chaque année un arrêt technique est programmé pour la maintenance préventive.

6.1. Maintenance centrale :

Qui a pour mission de garantir le fonctionnement des équipements et installations du site dans de bonnes conditions d'exploitation.

Elle est dotée d'un atelier central pour lancer et assurer toutes les opérations d'intervention ainsi que l'usinage des pièces en plus d'un bureau des méthodes pour appliquer la politique de la maintenance à travers les opérations de suivi de l'entretien curatif des équipements installés.

6.2.Maintenance production:

Installée sur place dans chaque bâtiment de production qui a pour mission l'intervention rapide et en urgence en cas de dysfonctionnement de l'un des équipements de production.

La direction de maintenance comporte un chef service et deux ingénieur avec un groupe de technicien de 5 techniciens comme il est montré par le diagramme de la direction suivant :

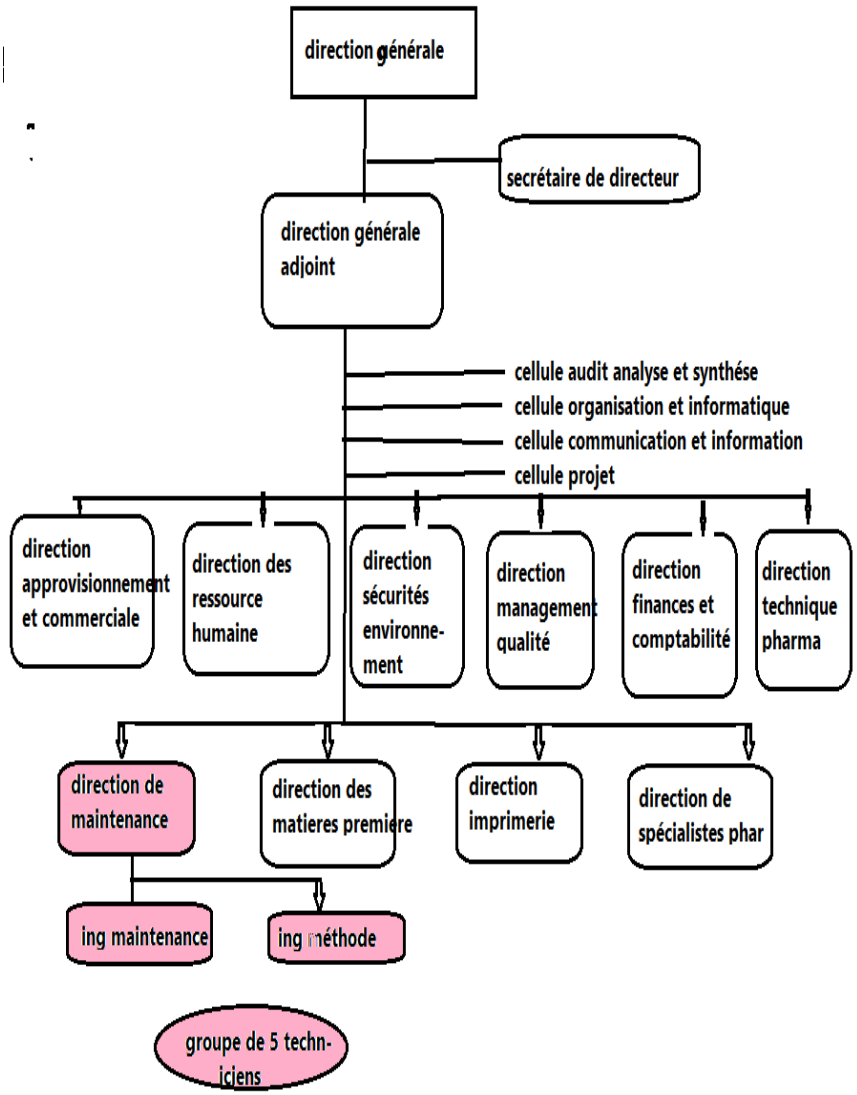


Figure .3. répartition des directions et cellules de saidal Médéa

7. **La sureté de fonctionnement** :

Est souvent appelée la science des défaillances ; elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maitrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et

matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d'avancées sont le fruit du retour d'expérience et des rapports d'analyse d'accidents.[10]

(La **sûreté de fonctionnement est une discipline scientifique multidisciplinaire à part entière et évolue en permanence pour intégrer les nouveaux outils et exigences en matière notamment de maintenance et de maîtrise des risques technologiques**).

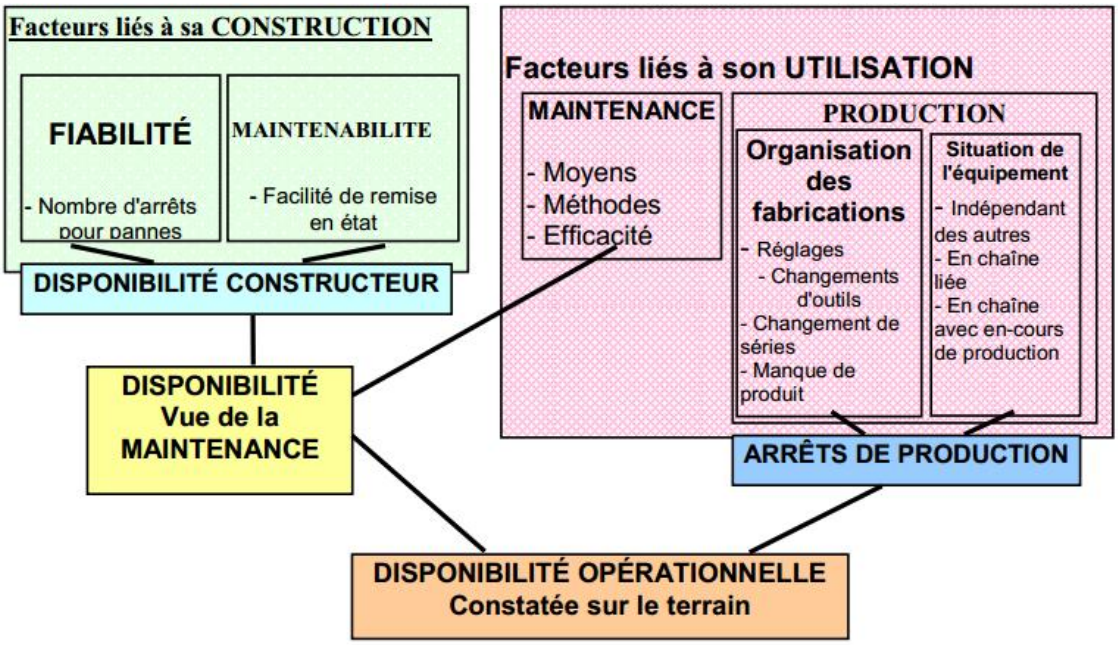


Figure 4. Les principaux facteurs qui rentrent dans la sureté de fonctionnement

Il faut juste rappeler ici l'étroite dépendance entre les caractéristiques de sûreté de fonctionnement et de performance technique et les caractéristiques de coûts directs/ indirects (conception, développement, exploitation,…) associés au système ; ces trois « dimensions » sont toujours très fortement corrélées (figure 5)

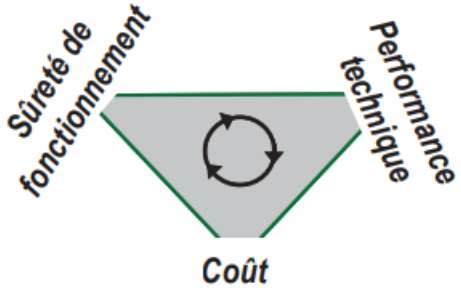


Figure 5. La relation entre le cout et la performance de système et leur SDF

8. Maintenabilité:

Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est effectuée dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits

• le terme « maintenabilité » est aussi défini comme une caractéristique indiquant une probabilité pour que le dispositif soit réparé dans un intervalle de temps donné (Extrait de NF X 60-010)

9. Maintenance:

ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé (Extrait de NF X 60-010)

Pour mettre en évidence les effets du processus maintenance sur les caractéristiques de sûreté de fonctionnement des équipements, nous pouvons le décomposer en trois phases de vie :

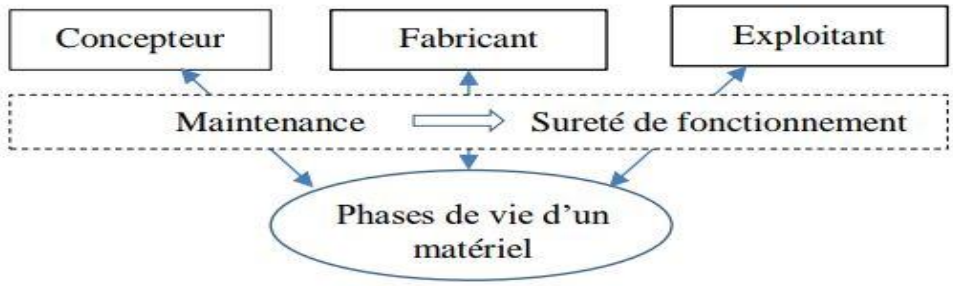


Figure .6. : Phases du cycle de vie d'un matériel et maintenance**.**

La prolongation de la durée de vie d'un matériel ne peut se faire que par des actions de maintenance. La (figure 7) schématise ces actions.

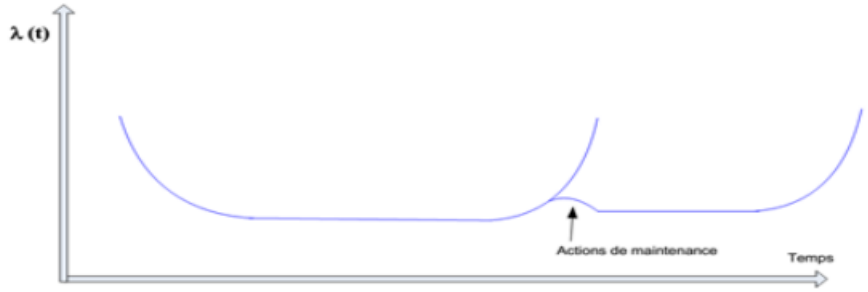


Figure 7. Effet de la maintenance sur la SDF [11]

Ce processus, représente l'ensemble ddxzées activités menées au cours des différentes phases du cycle de vie de l'installation (étude, préparation, planification, gestion des ressources, réalisation des interventions correctives et préventives, collecte et analyse du retour d'expérience, calcul d'indicateurs, etc.).

Analyse:

a- **Maintenance et concepteur:** La prise en compte de la maintenance en phase de conception qui permet de déterminer au mieux la fiabilité et la maintenabilité intrinsèque d'un bien ;
b- **Maintenance et fabricant du bien (constructeur):** La prise en compte de la maintenance en phase de fabrication du bien, c'est la disponibilité des pièces de rechange, les conditions de vente, garantie. Etc, ce qui caractérise l'aspect maintenabilité.
c- **Maintenance et exploitant :** La prise en compte de a maintenance en phase d'exploitation (maintenance interne à l'entreprise appelée aussi maintenance intégrée) qui produit la fiabilité opérationnelle et par suite la disponibilité, puis le soutien logistique qui conduit à la maintenabilité opérationnelle.

Pour caractériser les interventions de maintenance réalisées sur les matériels lors de son exploitation, et ce pour pouvoir optimiser les concepts de sureté de fonctionnement (Fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) nous pouvons nous référer aux différentes formes de maintenance.

10. Les différentes formes de maintenance :

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés :

Maintenir : c'est l'action préventive

Rétablir : c'est l'action corrective

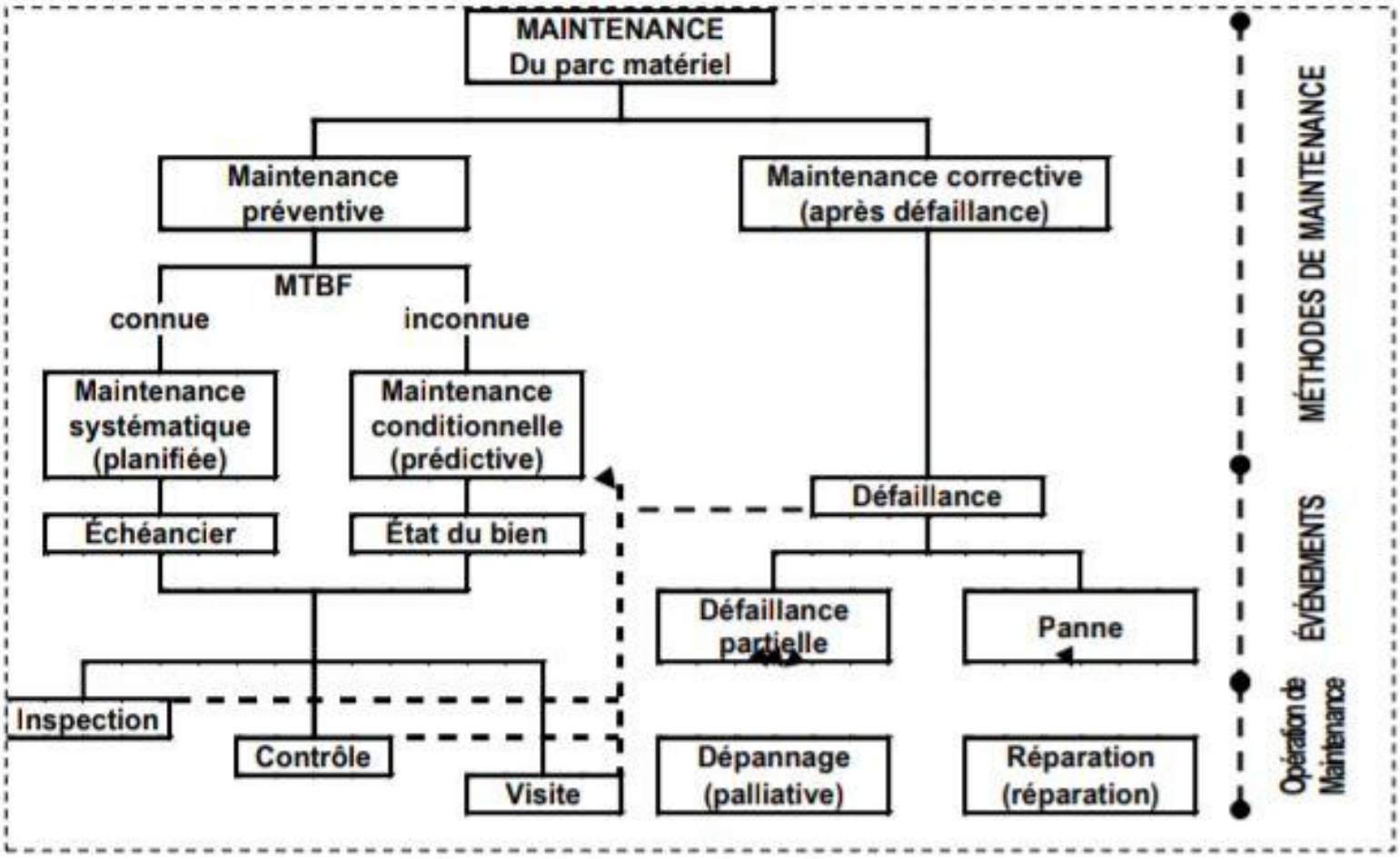


Figure 5. Organigramme de maintenance

CHAPITRE II

1. Introduction :

Plusieurs modes de réparation sont adoptés par les services de maintenance dans l'objectif d'augmenter la durée de vie et améliorer la sûreté de fonctionnement de systèmes.

Dans ce chapitre on va voir quelques recherches bibliographiques sur les modes de réparation afin de proposer une méthode optimale des réparations des pièces coûteuses, comme les ambes des turbines ou les rotors des compresseurs.

2.Les différentes méthodes de réparation :

2.1. Assemblage par la méthode FSW :

Le soudage par friction malaxage ou FSW (pour *Friction Stir Welding*) est un procédé de soudage inventé et développé par The Welding Institute en 1991. Il repose sur le principe d'un échauffement lié au frottement d'un outil en rotation ainsi qu'aux déformations plastiques engendrées par le malaxage. Ces effets combinés amènent la matière dans un état viscoplastique, ce qui créée une soudure de proche en proche lors de l'avance de l'outil.

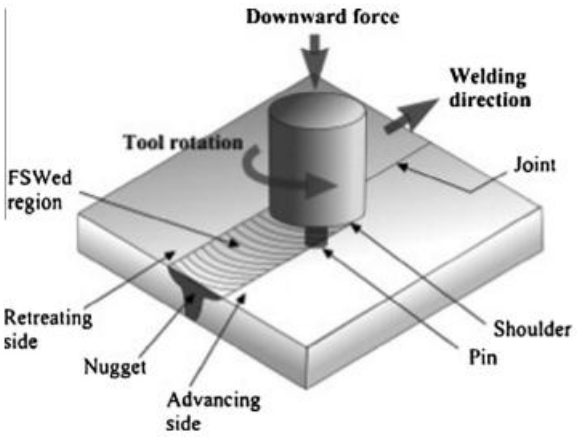


Figure .06. assemblage par la méthode FSW [3]

2.4. réparation d'engrenages et de pignons :

Réparer c'est avant tout une démarche écologique, et c'est éviter les transformations et les adaptations hasardeuses et couteuses.

C'est aussi la possibilité d'améliorer les performances des machines en mettant une matière plus résistante et parfois en rajoutant un graissage sur un point à fiabiliser.

Vous trouverez ci-dessous quelques exemples de réparation de pignons et d'engrenages.

- Réparation de têtes de forage
- Réparation de cannelures sur moteur (desctruction, rechargement, tournage, taillage)
- Réparation de pompes hydrauliques
- Réparation de secteurs [4]

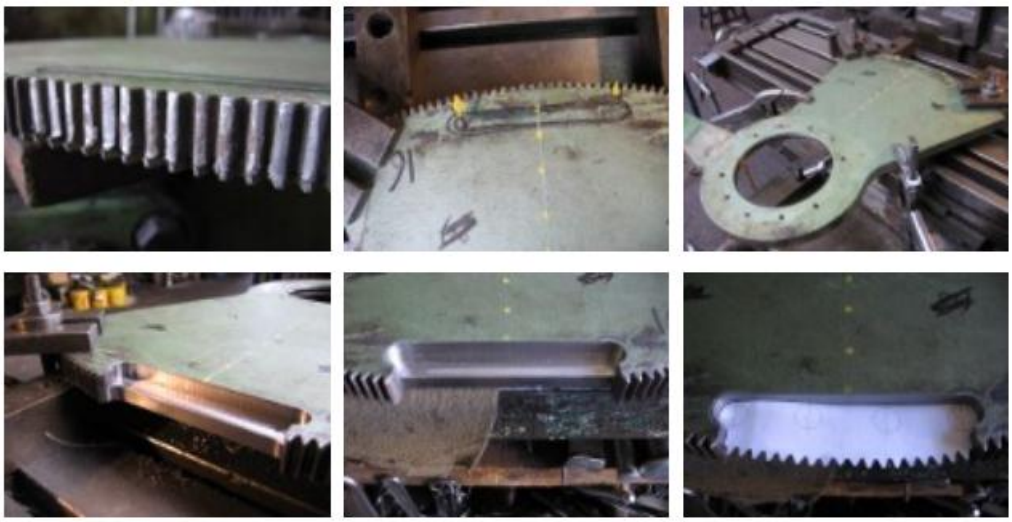


Figure .7. Quelques exemples de réparation de pignons et d'engrenages. [4]

2.5. Réparation par boulonnage :

Importée des États-Unis après la seconde guerre mondiale, la technique d'assemblage par boulons à haute résistance a commencé à être codifiée au début des années 1960. Le fascicule 4 titre IV, relatif aux rivets et boulons à haute résistance, a été publié en septembre 1967. Les boulons à haute résistance peuvent être de classe 10.9 ou 8.8 (fasc. 66). Les boulons sont constitués comme

un ensemble comportant une vis, un écrou et deux rondelles (excepté pour les vis présentant une tête à embase), le filetage de la vis étant réalisé exclusivement par roulage. Le fascicule décrit des essais sur éprouvette et sur produits finis (dureté, résilience, traction, traction avec rondelle biaise). Il définit en outre un essai d'aptitude au serrage comportant le tracé de la courbe effort--allongement et « la courbe obtenue devra être approximativement rectiligne de l'origine jusqu'à une contrainte au moins égale à celle correspondant à la limite d'élasticité de la vis».[5]

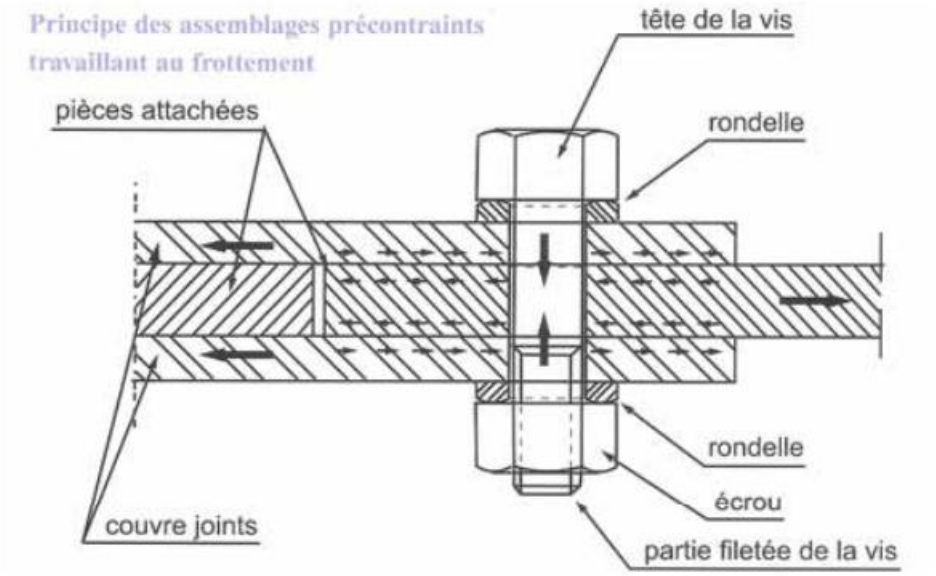


Figure .8. Réparation par boulonnage [5]

2.4. La réparation par soudage :

La réparation par soudage de pièces accidentées nécessite le plus souvent des décisions rapides qui ne peuvent être prises que par des spécialistes ayant une grande expérience pratique et des connaissances théoriques étendues dans ce domaine particulier d'application du soudage. Le soudeur réparateur doit discerner immédiatement le mode de réparation le plus approprié qui permettra la remise en état de la pièce dans les délais les plus courts et avec le maximum de garantie. Il est nécessaire très souvent d'exécuter des soudures dans des conditions qui ne peuvent pas être comparées à celles que l'on rencontre dans les travaux normaux de construction. Les solutions adoptées peuvent parfois

comporter la mise en œuvre de matériels importants. Les conditions de soudage sont plus difficiles quand la pièce à réparer n'est pas transportable dans un atelier, ou doit rester en place au sein de l'installation pour des raisons de sécurité. L'ambiance extérieure, la position d'accès, les conditions de préchauffage, etc. peuvent encore augmenter les difficultés de la réparation.[6]



Figure .9. Réparation par soudure sur bande de roulement de bandage, galet, ou toutes pièces fissurées en fonte ou en acier.[7]

2.5. La réparation par peinture en céramique :

Cette technique consiste a utiliser les propriétés anti-usure des époxies bicomponents chargés céramiques pour protéger les équipements tels que pompes, goulottes, et autres équipements dans les environnements industriels sévères. Disponibles en formulations applicables à la spatule ou à la brosse avec des charges spéciales pour des conditions difficiles, les produits céramiques permettent de faire face à la plupart des problèmes de corrosion, d'abrasion et d'usure habituellement rencontrés. Ils sont idéals pour toutes les réparations devant avoir une bonne durabilité.



Figure 10. Technique de réparation des surfaces par la peinture en céramique

2.6. Réparation des pièces de point avec rechargement par soudage en tig avec un préchauffage :

C'est l'essentiel de notre travail de voir l'efficacité de cette méthode .

On va voir les résultats sous forme numérique et expérimentale dans les deux chapitres qui reste.



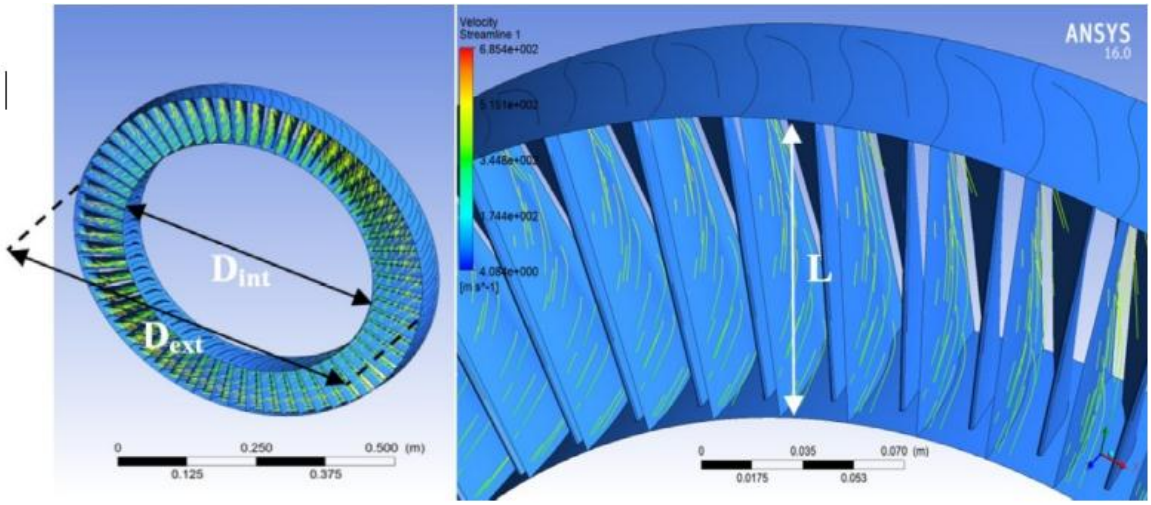
Figure 11. Rechargement par soudage Inconel avec préchauffage à 250 degrés

CHAPITRE III :

I. introduction :

Dans cette étude numérique, l'interaction entre les analyses fluide/structure a été réalisée par le logiciel ANSYS. Dans la partie CFD du logiciel de dynamique des fluides numérique, nous utilisons un écoulement gazeux en régime permanent en trois dimensions, ce code résout les équations de Navier-Stokes moyennées par Reynolds en coordonnées stationnaires et rotatives. En ce qui concerne la modélisation de la turbulence, en utilisant un modèle réalisable k-ε à différents rapports de soufflage, et dans la partie structurelle un matériau isotrope, élastique et à l'état statique.

Le rotor de ce compresseur a un diamètre externe Dext=700 mm, un diamètre interne Dint = 500 mm et une longueur d'aube L = 100 mm ,cette turbine avait 61 aubes, une solution de modélisation complète a pris beaucoup de temps, une aube de rotor sont modélisées en tenant compte des conditions aux limites correctes (Figure 12)



A B

Figure.12) Taille de la géométrie et propriétés de notre étage de rotor .B) grossissement de la géométrie de la pale.

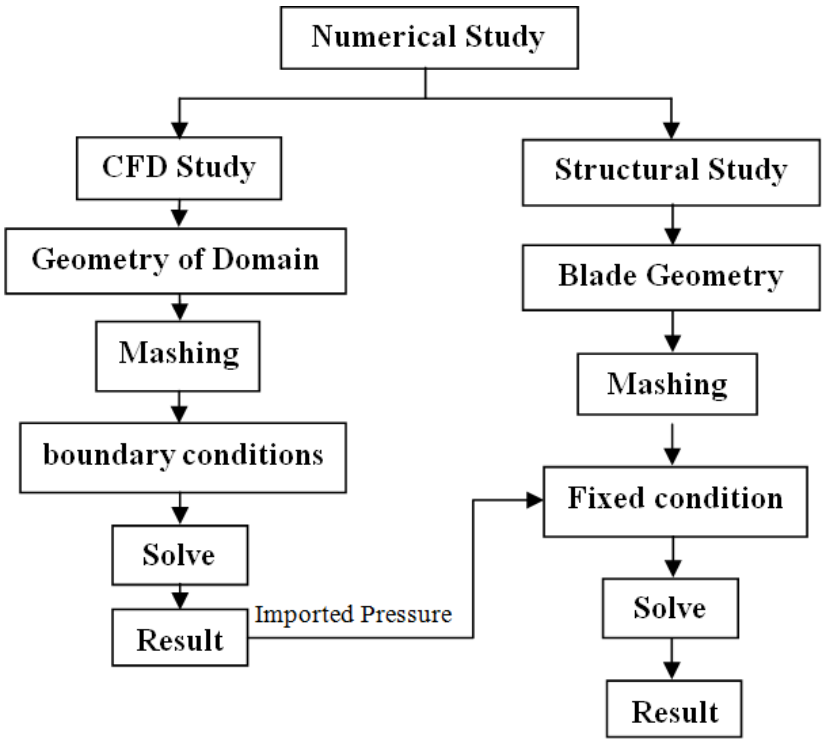
La répartition de la pression a montré une cohérence avec les conditions réelles (Figure 12.b)) et notre lame est en alliage Inconel 718 utilisé dans l'industrie des turbines à gaz et l'industrie pharmaceutique à cause de leur résistance a la corrosion , elle offre une résistance supérieure à l'abrasion, aux températures élevées et aux produits chimiques. Ce matériau présente un excellent bilan de performance en termes de coût-durée de vie des pièces. (tableau. 1) [8]

Ni+Cr	Cr	Mo	Nb+Ta	Ti	Al	Fe
53,7	17,9	2,9	5,22	1,0	0,49	18,79

Tableau . 1 .Composition chimique de l'alliage Inconel 718 [8]

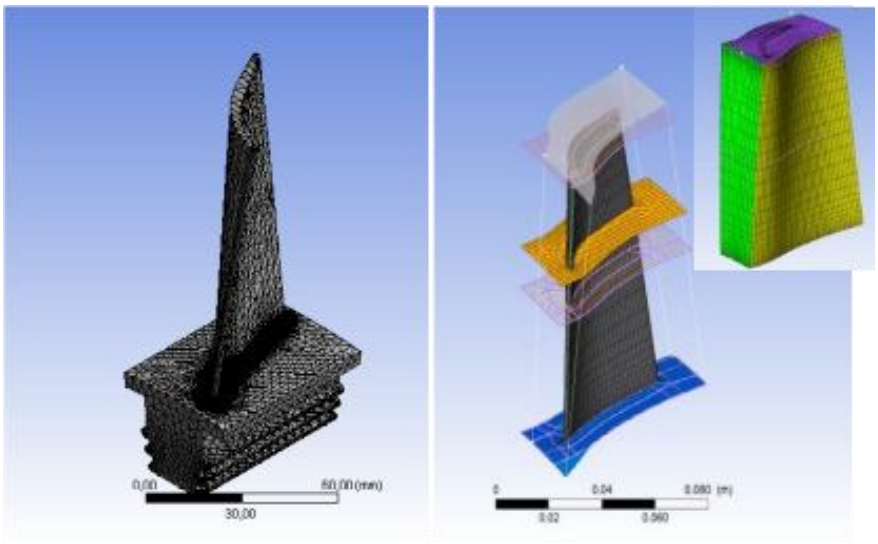
2 . RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Cette étude est divisée en deux parties; la première est le logiciel CFD et la seconde est les analyses structurelles. Dans la partie CFD, les aubes sont maillées avec le logiciel TurboGridTM en tenant compte du logiciel CFX qui a pour objectif de mettre la condition aux limites ,d'analyser et d'obtenir la pression.



2.1 Le maillage :

Dans la Figure 13. (a), nous avons utilisé le maillage tétraèdre en raison de la création de fissures qui exige ce type de maillage (le maillage de fracture ne supporte que les éléments tétraèdres quadratiques). Mais pour le CFD (Fig. 13 (b)) maillage il est automatiquement pris en utilisant une turbogrille qui nous donne ce type de maillage.

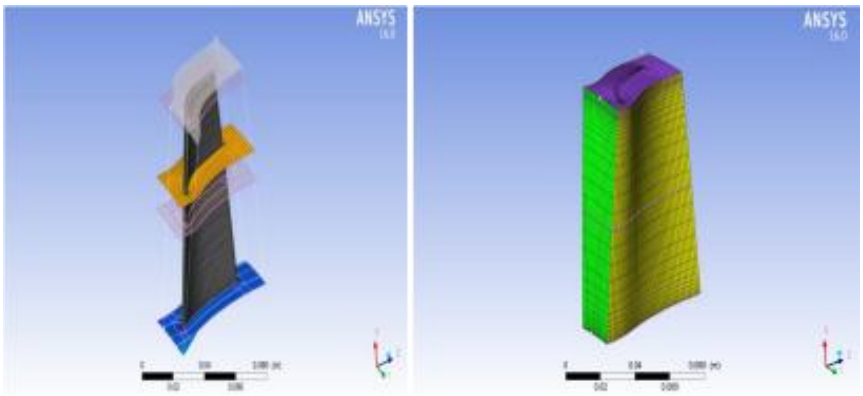


(a) **(b)**

Figure.13 Le modèle d'aube de turbine à gaz. (a) Maillage structurel, (b) maillé utilisé pour CFD.

2.2 Étude sur les CFD :

Dans la partie fluide, nous avons utilisé le logiciel CFD ANSYS®advanced pour notre étude, cependant, les conditions aux limites appliquées suivent un schéma classique pour les simulations d'écoulement incompressibles et à faible nombre de Mach.**(Figure 14)**

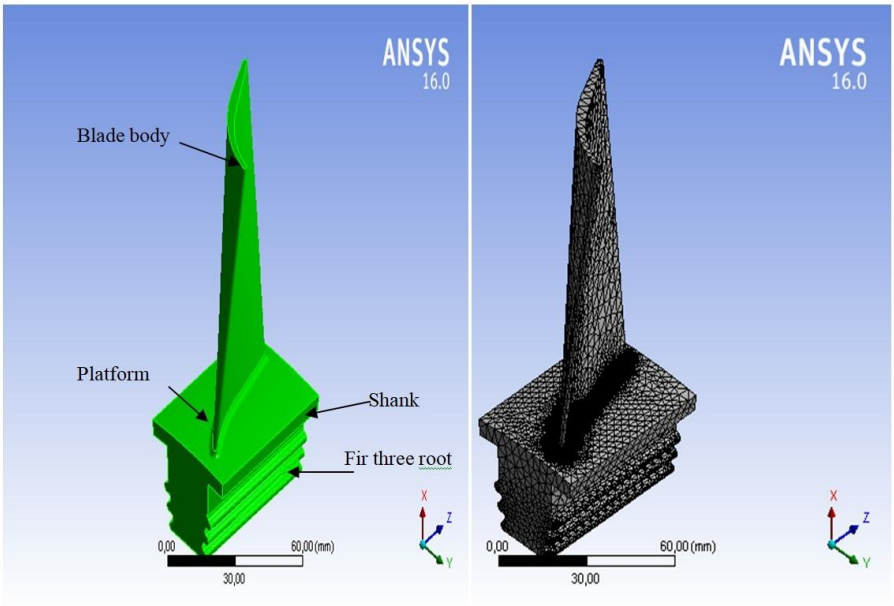


(a) **(b)**

Figure 14 Maillage de domaine utilisé, (a) domaine à l'intérieur, (b) domaine à l'extérieur

2.3 Étude structurelle :

Dans l'étude structurale, la géométrie de notre pale est présentée à la Figure(15.a). Avec le maillage utilisé, la lame est maillée comme le montre la figure (15.b) Dans la condition aux limites ,nous avons fixé les trois racines de notre aube (Ux=Uy=Uz = 0), la pression de chargement est importée du résultat CFD vers le corps de l'aube.



(a) **(b)**

Figure .15 Le modèle d'aube de turbine à gaz. (a) Module structurel, (b) Maillé utilisé.

La région critique ou la zone de fissure est la région dans laquelle la contrainte normale maximale se produit, sur la Figure .16 ont montré leur contrainte normale (ou contrainte principale) dans les axes déférents (X, Y et Z), nous avons une contrainte maximale dans la direction X avec une valeur de 101,99 MPa.

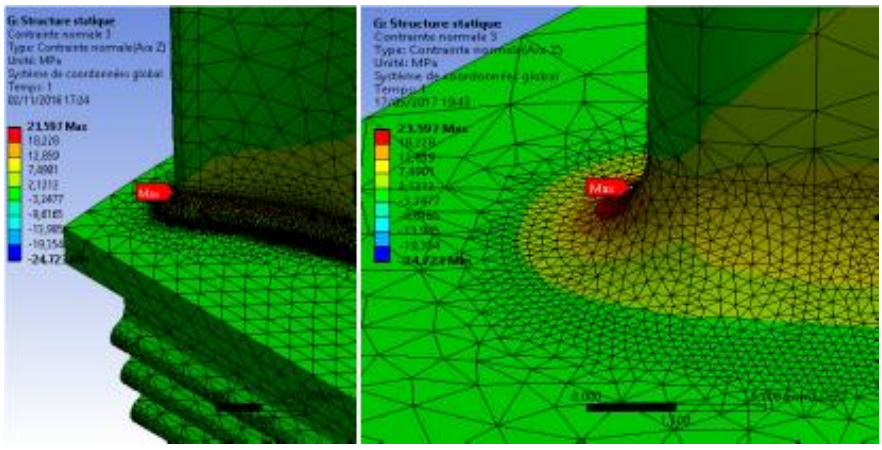


Figure..16 . La région critique **de contrainte**

2.4 Création de la fissure dans le congé de l'aube :

Après avoir étudié la contrainte maximale de la lame, et l'avoir prise comme un point de fissure. Nous allons propager étape par étape .Afin d'étudier la direction de la fissure. nous choisissons une fissure semi-elliptique selon plusieurs auteurs, il a été suggéré que le compresseur était gravement endommagé en raison de la défaillance de l'aube et l'observation a montré qu'une piqûre grave s'était produite sur les surfaces de l'aube et qu'il y avait des preuves de fatigue marque une fissure de surface de fracture semi-elliptique figure(.17).

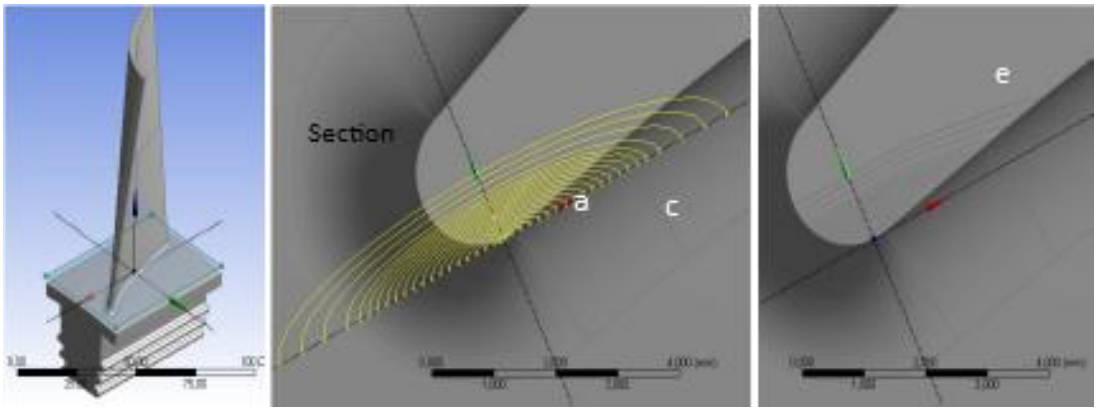


Figure 17 :Présentation de la section de fissure

La figure (17) a montré la fissure semi-elliptique avec une profondeur a, une longueur c et des propriétés maillées: rayon circonférentiel de maillage rc=0,01 mm, division circonférentielle nc=16, division radiale nr=16 et division de la pointe de fissure nt=91

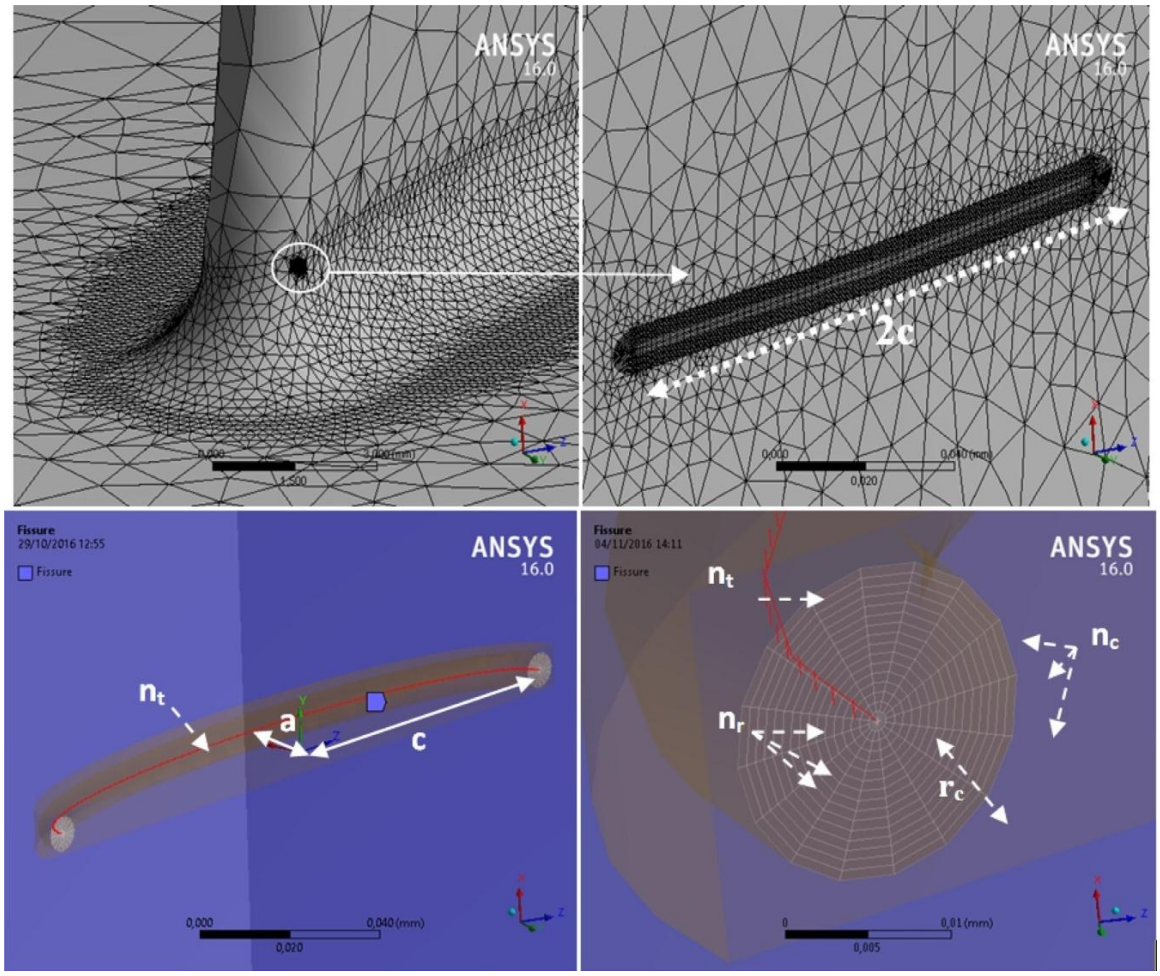


Figure .18 :Caractérisation du maillage des fissures semi-elliptiques.

2.5. Facteur d'intensité de contrainte sur la distribution des fissures :

La nature de fissure permet de distinguer et de définir les trois modes d'ouvertures et donc les trois modes de sollicitation d'une fissure représentés sur les figures (19)

– **le mode I** : dit mode d'ouverture : le déplacement s'effectue selon une normale `a la fissure .

– **le mode II** : dit mode de cisaillement plan ou glissement droit : le déplacement est tangent `a la fissure et dans le plan.

– **le mode III** :dit mode de cisaillement anti plan ou glissement vis : le déplacement est tangent `a la fissure et normal au plan.[9]

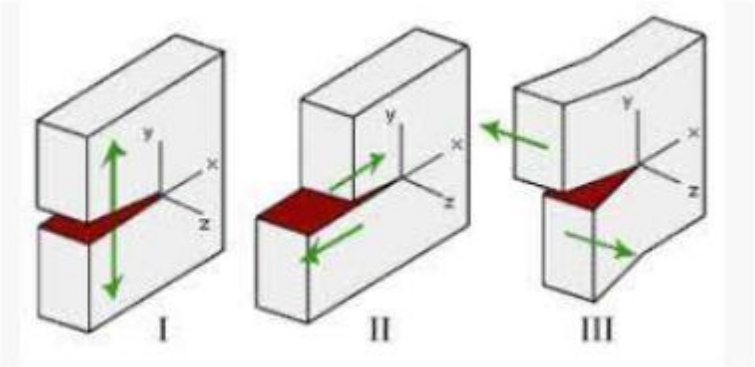


Figure (19) . Les trois modes de facteur d'intensité de contrainte K1, KII, KIII

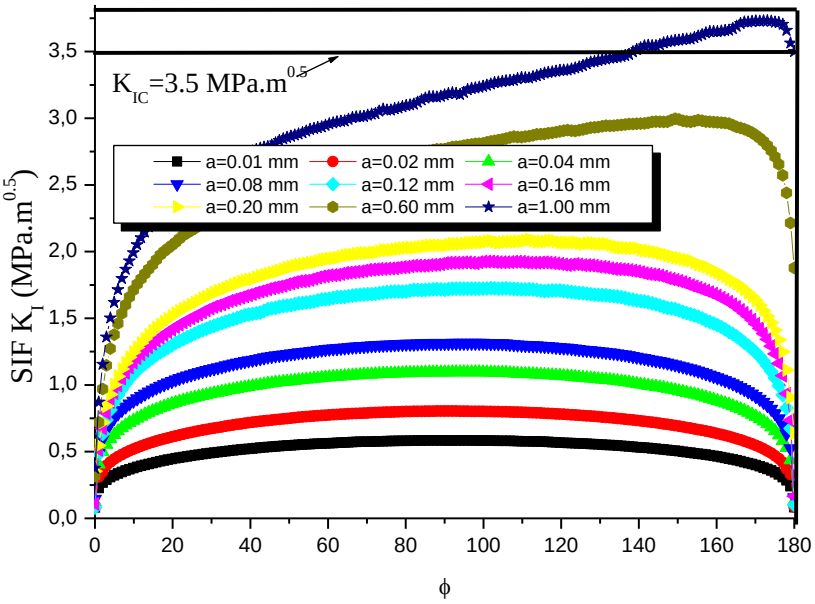


Figure (20) . facteur d'intensité de contrainte K1,

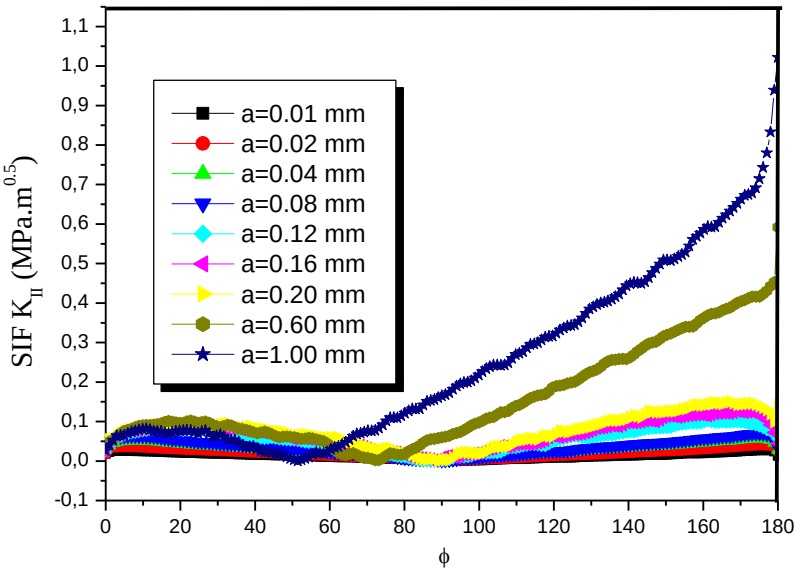


Figure (21) . facteur d'intensité de contrainte KII

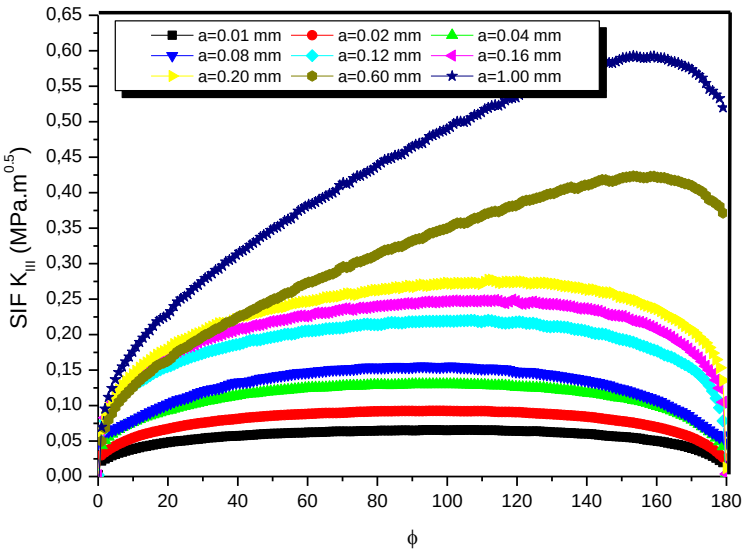


Figure (22) . facteur d'intensité de contrainte K1,

D'après les trois graph on remarque que le K1 est plus dominent que les autres facteurs KII et K III, et en remarque aussi que la profondeur critique est de 0.45 mm pour une épaisseur de l'aube de 2 mm .

2.6 Facteur d'intensité de contrainte équivalent :

Les axes horizontaux restent les mêmes comme les autres courbes mais l'axe vertical sera l'équivalent du facteur d'intensité de contrainte Dans ce cas notre courbe ressemble au SIF en mode I, elle augmente à chaque fois que nous modifions la profondeur de fissure et l'angle de début de fissure changer à chaque fois.

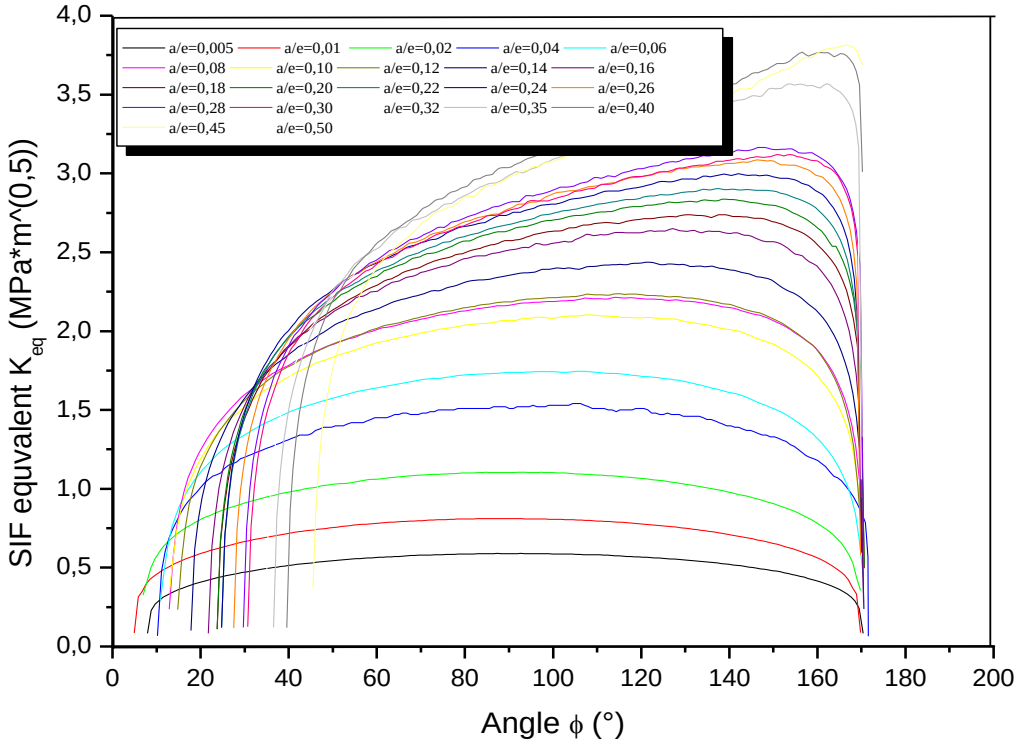


Figure (23) . facteur d'intensité de contrainte Keq,

$$K_{eq} = \sqrt{(K_{II}^2} + K_{II}^2 + \frac{1+K_{III}^2}{1-\upsilon})$$

Notez que le chargement du mode pur KI donne quasiment les mêmes valeurs que Keq, Aussi que le Keq dépend de la racine de la quarrai somme des 3 modes sur le coefficient de poison.

On remarque aussi que la profondeur critique est de 0.45 mm pour une épaisseur de l'aube de 2 mm, qui veut dire qu'on a une profondeur de fissure de

25% rentre dans la zone de sécurité au-delà de cette profondeur on n’est dans la zone critique non réparable.

CHAPITRE V

1. Introduction :

Dans cette partie de mémoire on va faire des essais mécanique de traction pour des éprouvettes normalisé .ses essais sont pour l'objectifs de voir la fiabilité de notre mode de réparation proposé.

Notre plan de travail consiste à faire des défauts semi elliptique au centre de l'éprouvette après on va les remplis par deux types de tig *(Tig OK 61-30 et Tig OK 63-30)* et on va voir lequel de ses tig est plus fiable que l'autre.

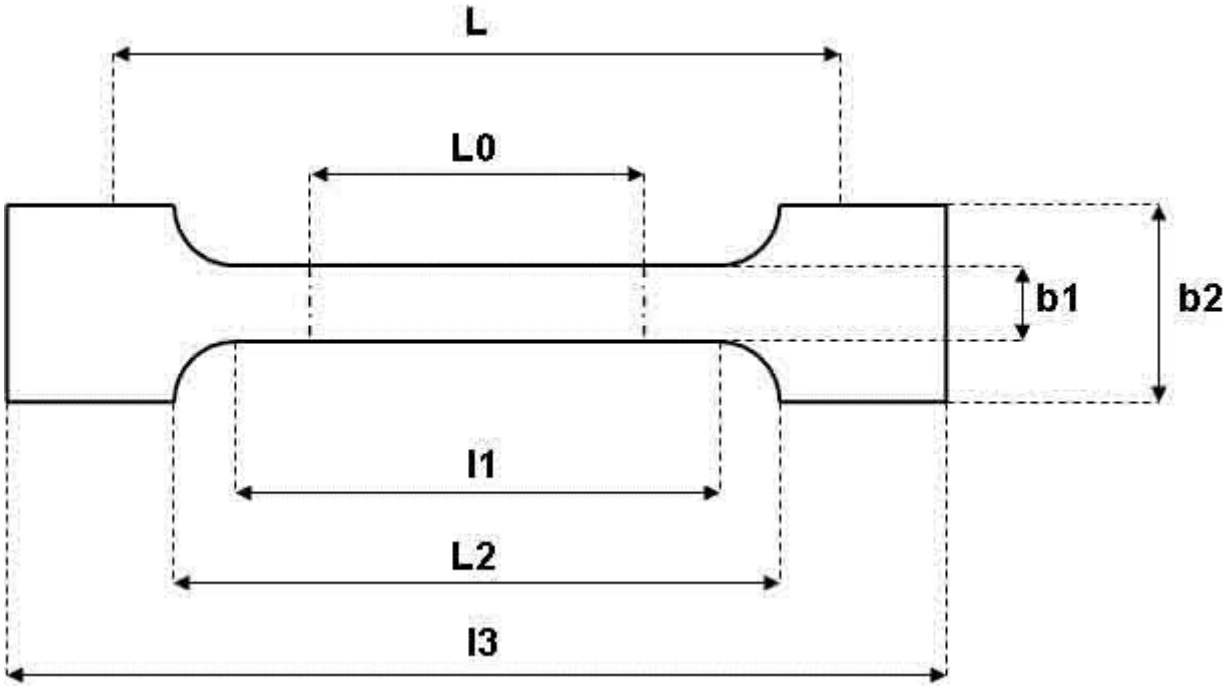


Figure (24) éprouvette normalisé

L_0 = Longueur de référence

L = Ecartement entre outillages

l_1 = Longueur de la partie calibrée étroite

L_2 = Ecartement entre les parties parallèles larges

l_3 = Longueur totale

b_2 = Largeur dans la zone d'épaulement

b_1 = Largeur dans la zone de la longueur de référence

h = épaisseur de l'éprouvette

Norme	Type d'éprouvette	l_3	l_1	b_2	b_1	h	L_0	L	Forme
ISO 3167	A	> 150 (170)	80 ± 2	20±0,2	10±0,2	4±0,2	-	-	Haltère

Tableau (02). Norme de l'éprouvette [ ]

2. Preparation des éprouvettes:

Dans notre travail expérimental on a réalisé 9 éprouvette, trois éprouvettes comme référence (non soudé) et trois remplis par le tig (61-30) et les dernier avec le tig (63-30) figure(25). Avant d'entamé les soudures il faut faire un préchauffage de 150°c.

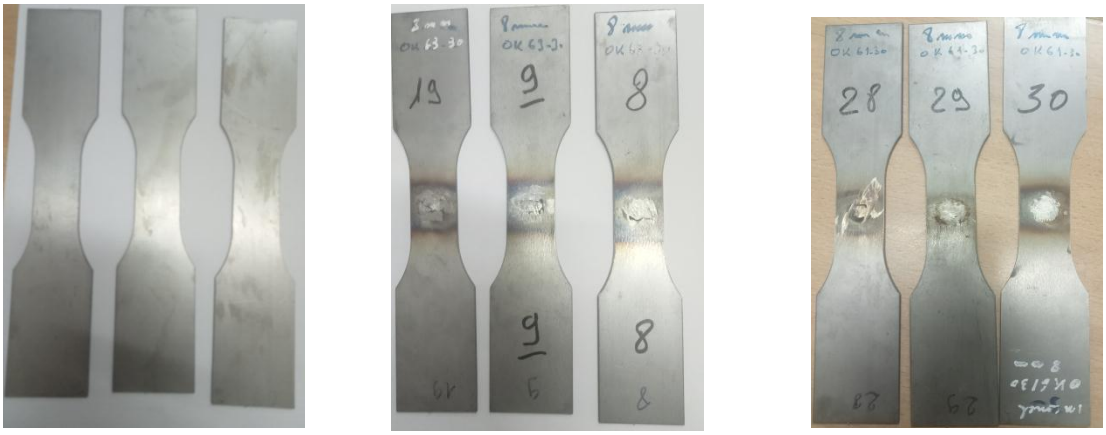


Figure (25) préparation des éprouvettes

3. principe de l'essai traction :

L'essai de traction a pour but l'évaluation des caractéristiques d'un matériau, pour entamé les essais il faut connaitre la vitesse d'essais.

Dans notre modèle inconel 718 la vitesse est de :

$V \leq 0.15\ L_0$ (mm/min) ou $\sigma \leq 30$ N/mm^2 /sec

Dans notre cas on a pris la vitesse **5 mm/min**

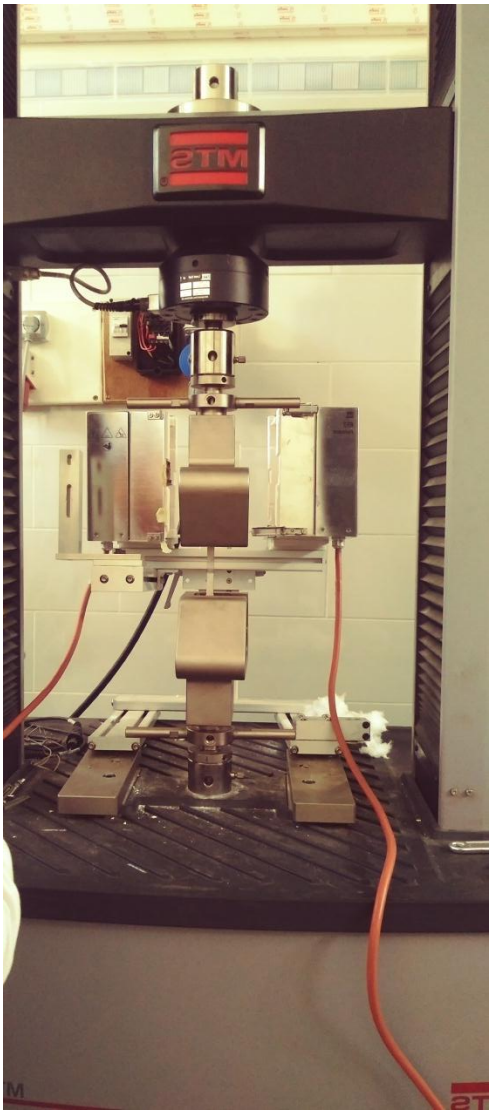


Figure . 26 . Machine de l'essai de traction au niveau de centre de recherche

4. Les propriétés mécaniques de l'inconel 718 :

Les propriété mécanique de l'inconel sont représenté dans le tableau suivant :

Nom	Inconel
Densité	**8200 kg/m3**
Résistance à la traction ultime	**1200 MPa**
Limite d'élasticité	**1030 MPa**
Module de Young	**200 GPa**
Dureté Brinell	**330 BHN**
Point de fusion	**1400 °C**
Conductivité thermique	**6,5 W/mK**
Capacité thermique	**460 J/gK**

Tableau .3. Les propriétés mécaniques de l'inconel 718

Les essais de traction :

L'essai de traction est destiné surtout pour l'examen de la tenue des matériaux soumis à l'action de contraintes de traction axiales reparties uniformément sur toute la section de l'éprouvette .

L'essai se fait sur des éprouvettes standardisées sur une machine d'essai de traction (fig.).

Les essais fons sur 3 parties :

a- Eprouvette type :

Les essais de cette partie est pour objectif de voir la fiabilité des résultats obtenu, et cela par comparaison avec les propriétés mécanique de métal de base (inconel 718).

La courbe suivante montre les résultats obtenu .

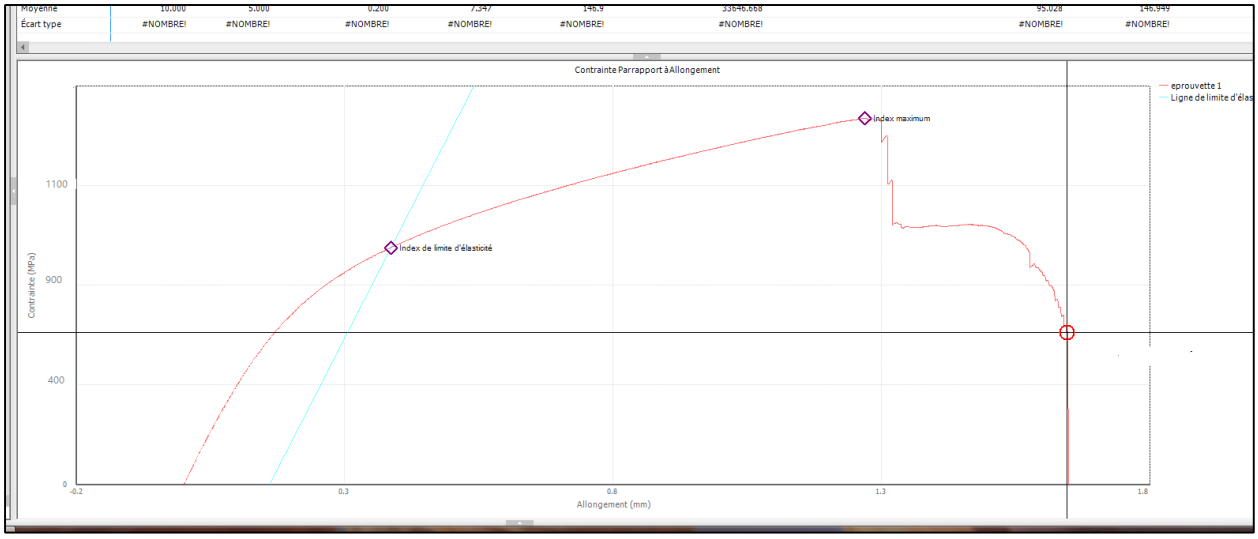


Figure 27 la courbe de traction pour une éprouvette type non chargé.

La courbe montre la fiabilité de notre éprouvette, on trouve les mémés caractéristiques mécaniques de l'inconel.

Donc on peut faire nous essais sur les éprouvettes réparées.

b- Eprouvette chargé par le tig OK 63-30

OK 63.30 est une électrode à très bas carbone du type 18Cr12Ni2,8Mo pour le soudage des aciers stabilisés de composition similaire sauf dans les cas où il faut respecter la totalité de la résistance au fluage de la pièce à souder. LOK 63.30 s'amorce et se réamorce facilement et le laitier est auto-détachable. Courant de soudage DC+, AC OCV 50 V.

La courbe suivante montre les résultats de traction d'une éprouvette chargée par ce type de tig.

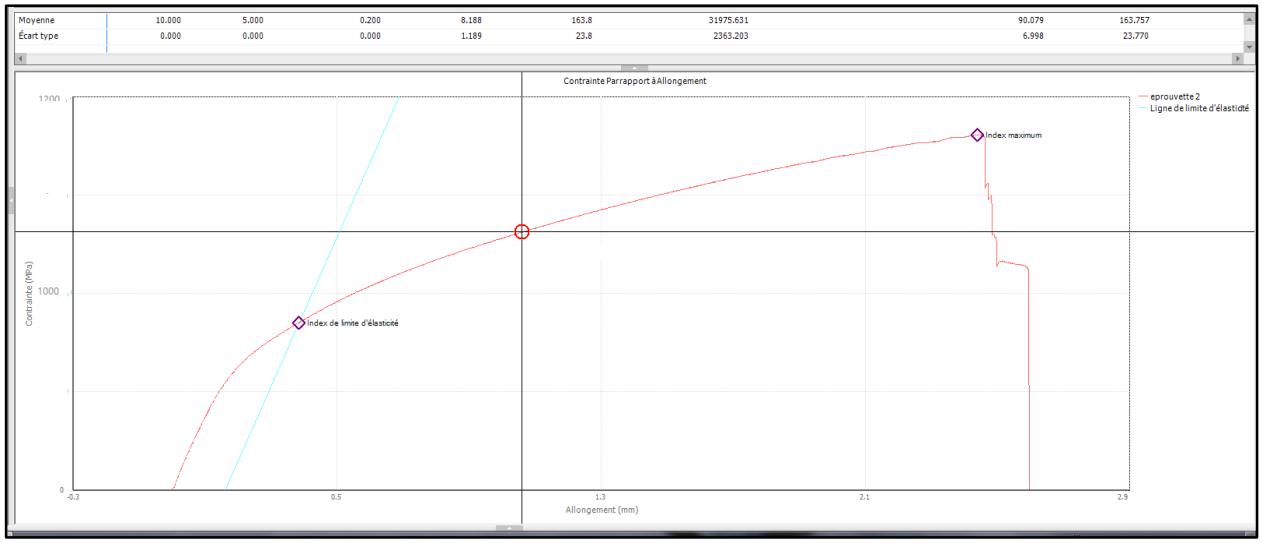


Figure 28. la courbe de traction pour une éprouvette type chargé par tig ok 63-30.

Les résultats de ce type de tig montre une efficacité des résultats ,ou les déférences des propriété sont négligeable.

c- Eprouvette chargé par le tig OK 61-30 :

OK 61.30 est une électrode bi-courant à très bas carbone pour le soudage des aciers du type 19Cr10Ni et convient aussi au soudage des aciers inoxydables stabilisés de composition similaire sauf quand on doit respecter la totalité de la résistance au fluage du métal de base. Elle s4amorce et se réamorce très facilement. Les cordons ont un très bel aspect et le laitier est auto-détachable.

Courant de soudage DC+, AC OCV 50 V.

La courbe suivante montre les résultats de traction d’une éprouvette chargée par ce type de tig.

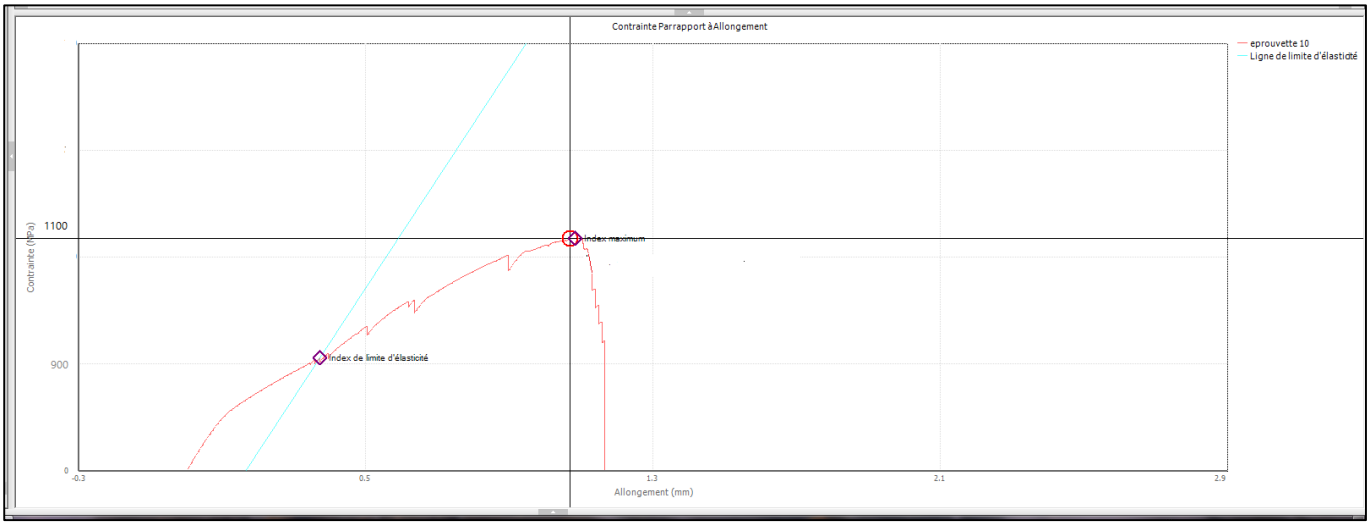


Figure .29. la courbe de traction pour une éprouvette type chargé par tig ok 61-30.

Le tig 61-30 est loin de résultats de tig ok63-30, donc le tig 63-30 est le type le plus optimale pour la réparation par chargement.

CONCLUSION

L’Algérie donne une grande importance ces dernier temps pour l’industrie. A cet effet il faut réduire les couts d’importation des pièces de rechange par les modes de réparation qu’on a vu dans la recherche bibliographique.

Dans notre étude, FEM (ANSYS®) a été utilisé pour estimer l'effet du chemin de pré-fissure sur la turbine à gaz à aubes avec couplage entre l'analyse des fluides et de la structure. Dans l'analyse des contraintes pour le modèle structurel, la pression a été obtenue à partir de l'analyse CFD. Dans la deuxième étape, une fissure a été créée et le SIF et la valeur équivalente du SIF ont été analysés et tracés. Le facteur d'intensité de contrainte le plus important a été dominé sur le mode d'ouverture (KI) le long du contour pour angle différent sur la fissure semi-elliptique.

Notre méthode de réparation a donné des résultats fiable et efficace, qui on peut les appliqué dans le domaine d’industrie pharmaceutique ou gazier …., et on va voir une bonne fiabilité des systèmes par suite une bonne sureté de fonctionnement (zéro arrêt ,zéro accident) .

REFERENCES

[3] He, X., Gu, F. et Ball, A. (2014). Une revue de l'analyse numérique du soudage par friction-malaxage. *Progrès en science des matériaux* , *65* , 1-66.

[4] Atelier de Taillage d'engrenage dans les secteurs: Automobile - Industrie - Agroalimentaire - Aéronautique - Pétrochimie – Sidérurgie. 25 Bd Massenet - Lot n°413014 Marseille

[5] livre « Réparation et rénovation des structures métalliques »

[6] J. delair.ingénieur Technologue EEMI-Violet et ESSA « Matériaux & Techniques Volume 86, Numéro 1-2 , 1998 »

[7] Est Métal Réparation Agrafage – Soudure - agraflock@wanadoo.fr

[8] Wilders, P., Fox, P., Ecer, A., Satofuka, N. and Periaux, J. eds., 2002. Parallel Computational Fluid Dynamics 2001, Practice and Theory. Elsevier. ASIN B00PIREMC2

[9] Panetier, J. (2009). Vérification des facteurs d'intensité de contrainte calculés par XFEM (Doctoral dissertation, École normale supérieure de Cachan-ENS Cachan).

[10] polycopie de Module de sureté de fonctionnement Claire Pagetti - ENSEEIHT 3 `eme TR - option SE 10 décembre 2012.

[11] Ahmed BELLAOUAR et al polycopie de la FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE. UNIVERSITE Constantine 1