



Fès, le 30/ 12/2015

N° d'ordre 25/2015

## THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**Mr: Mohammed Amine BENNANI**

Spécialité : Génie Mécanique

Sujet de thèse :

# Etude de l'endommagement des appareils sous pression soumis à des pressions internes

Thèse présentée et soutenue le Mercredi 30 Décembre 2015 devant un jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Pr Zouak Mohcine	Directeur	Institut de recherche sur le cancer, CHU Fès	Président
Pr Abdellatif El Marjani	PES	Ecole Mohammadia d'Ingénieurs de Rabat	Rapporteur
Pr Oussouaddi Omar	PES	Vice-président de l'université Moulay Ismail-Meknès	Rapporteur
Pr El Majdoubi Mohamed	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Pr Moustabchir Hassan	PH	Faculté des Sciences et Techniques d'Er-Rachidia	Examinateur
Pr Seddouki Abbass	PH	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examinateur
Pr.A.EL KHALFI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Génie Mécanique

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès





### Résumé de la thèse

Ce travail Présente une étude sur l'endommagement des appareils sous pression. Deux cas de figures ont été abordés, le premier est celui de l'endommagement par fissuration des appareils sous pression, le deuxième est l'endommagement par fatigue de ces appareils. Dans le premier cas, on compare deux méthodes numériques, la méthode des éléments finis classique, et la méthode des éléments finis mixtes. Les deux méthodes ont été utilisées pour caractériser les fissures axiales dans les appareils sous pression, ce qui montre une bonne approximation de la méthode des éléments finis mixtes.

Dans le deuxième cas on présente une idée originale qui permet d'augmenter la résistance à la fatigue des appareils sous pression, qui consiste à placer un liner/revêtement à l'intérieur des appareils sous pression, plusieurs matériaux ont été testés, ainsi que plusieurs épaisseurs du liner. Les résultats démontrent une nette amélioration de la durée de vie totale.

**Mots clés** : Appareils sous pression, rupture mécanique, Fissure, Integral-J, Méthode des éléments finis mixtes, Fatigue Mécanique, Liner, Revêtement, ...

## TABLE DES MATIERES

Liste de figures .....	9
Liste de Tableaux .....	13
Notations .....	14
Introduction Générale.....	18
I. Chapitre I : BIBLIOGRAPHIE - APPAREILS SOUS PRESSION .....	21
I.1 Introduction .....	22
I.2 Démarche conceptuelle des appareils sous pression .....	23
I.2.1 Principes de base .....	23
I.2.2 Conception des appareils sous pression cylindriques .....	26
I.2.3 Théorie des coques minces cylindriques .....	26
I.2.4 Conception d'appareils sous pression par analyse structurelle .....	30
I.2.5 Conception d'appareils sous pression par règles de calcul .....	30
I.3 Appareils sous pression avec Liner .....	36
I.3.1 Aperçu bibliographique sur les Appareils sous pression avec liner .....	36
I.3.2 Caractéristique du liner dans les Appareils sous pression.....	39
II. Chapitre II : Etude des appareils sous pression cylindriques fissurés avec la méthode des éléments finis mixte .....	41
II.1 Mécanique linéaire élastique de la rupture (LEFM).....	42
II.1.1 Introduction .....	42
II.1.2 Critères de la mécanique linéaire de la rupture. ....	43
II.1.3 Fonction de forme pour une distribution polynomiale de contrainte .....	52
II.1.4 Maillage de structure fissurés.....	56
II.1.5 Conclusion.....	59

II.2	Méthodes des éléments finis mixtes pour l'élasticité linéaire .....	60
II.2.1	Introduction .....	60
II.2.2	Equations d'élasticité linéaire .....	61
II.2.3	Formulation faible .....	62
II.2.4	Existence et unicité.....	64
II.2.5	Approximation par élément finis mixtes .....	65
II.2.6	Analyse d'erreur d'approximation .....	69
II.3	Simulation Numérique.....	71
II.3.1	Outils numériques nécessaires .....	71
II.3.2	Etude du Taux de convergence .....	73
II.3.3	Etude du facteur d'intensité de contrainte.....	81
II.4	Conclusion .....	103
III.	Chapitre III : Etude de l'impact du liner sur la résistance à la fatigue des appareils sous pression .....	105
	Introduction.....	106
III.1	Fatigue des structures mécaniques.....	107
III.1.1	Introduction .....	107
III.1.2	Analyse et estimation de la durée de vie en fatigue .....	109
III.1.3	Estimation de la durée de vie.....	110
III.1.4	Fatigue des <i>appareils</i> sous pression. ....	138
III.2	Simulation Numérique .....	142
III.2.1	Algorithme d'Estimation numérique de la durée de vie en fatigue .....	142
III.2.2	Model d'appareils sous pression avec liner.....	147
III.2.3	Simulation numérique.....	149
III.2.4	Résultats.....	159

III.3 Conclusion .....	170
Conclusion Générale .....	173
Perspectives .....	176
Références .....	177
ANNEXE A : FACTEURS DE FORME $i$ , DANS LE CAS DE COQUES CYLINDRIQUES AVEC UNE FISSURE AXIALE .....	186
ANNEXE B : CODE SOURCE PYTHON -PARAMETRAGE ABAQUS .....	187
ANNEXE C: Facteurs de correction en Fatigue .....	194