

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



**Département  
Maîtrise des risques Industriels et Environnementaux  
Filière : QHSE-GRI  
Mémoire de Projet de Fin d'étude pour l'obtention du diplôme  
d'ingénieur d'état en QHSE-GRI**

---

**Développement d'une stratégie de protection incendie  
combinant normes NFPA, modélisation numérique et  
Lean Management dans un contexte industriel 4.0**

---

**Abir SAADALLAH**

**Sous la direction de :**

**M. Mohamed BOUBAKEUR  
M. M'hamed BOUSBAI**

**Maître Assistant A à l'ENP  
Maître de Conférence B à l'ENP**

**Présenté et soutenu publiquement le 03- 07 - 2025 devant le jury composé de :**

**M. H. YOUSFI  
M. A. KERTOUS  
M. F. LEGUEBEDJ**

**Président  
Examineur  
Examineur**

**Professeur à l'ENP  
Maître Assistant A à l'ENP  
Maître de conférence B à l'ENP**

**ENP 2025**



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEURE ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



**Département  
Maîtrise des risques Industriels et Environnementaux  
Filière : QHSE-GRI  
Mémoire de Projet de Fin d'étude pour l'obtention du diplôme  
d'ingénieur d'état en QHSE-GRI**

---

**Développement d'une stratégie de protection incendie  
combinant normes NFPA, modélisation numérique et  
Lean Management dans un contexte industriel 4.0**

---

**Abir SAADALLAH**

**Sous la direction de :**

**M. Mohamed BOUBAKEUR**

**Maître Assistant A à l'ENP**

**M. M'hamed BOUSBAI**

**Maître de Conférence B à l'ENP**

**Présenté et soutenu publiquement le 03- 07 - 2025 devant le jury composé de :**

**M. H. YOUSFI**

**Président**

**Professeur à l'ENP**

**M. A. KERTOUS**

**Examineur**

**Maître Assistant A à l'ENP**

**M. F. LEGUEBEDJ**

**Examineur**

**Maître de conférence B à l'ENP**

**ENP 2025**

## ملخص

يهدف هذا البحث الأكاديمي لمشروع نهاية التخرج إلى دراسة وتقييم مخاطر الحريق داخل مؤسسة Wafa الجزائرية، مع التركيز على اقتراح نظام وقاية فعال داخل مناطق التخزين. تم الاعتماد على معيار NFPA 551 كمرجعية أساسية لتحديد النقاط والمناطق ذات الخطورة العالية، أعقبتها عملية محاكاة لسيناريوهات حريق حرجة باستخدام برنامج FDS والذي يتيح تمثيلاً دقيقاً لسلوك النيران داخل البيئة الصناعية الواقعية للمصنع. كما تم اعتماد منهجية Lean Management للحد من الهدر، خصوصاً في التخزين والتنقلات غير الضرورية، مع التركيز على تحرير مسارات الإخلاء لضمان سلامة العاملين وتحسين تنظيم بيئة العمل، في إطار توجه استراتيجي نحو مفاهيم الصناعة 4.0.

وبذلك، يستند هذا العمل إلى مقارنة شاملة تدمج بين البعد الفني (من خلال المعايير والتقنيات)، والبعد التنظيمي (من خلال منهجيات التحسين المستمر)، والبعد الرقمي (من خلال أدوات المحاكاة والتحليل)، من أجل تصميم وتنفيذ منظومة فعالة ومتكاملة للوقاية من الحرائق تتناسب مع طبيعة المؤسسة وخصوصياتها التشغيلية، وتضمن في الوقت ذاته تأمين وتسهيل عمليات الإخلاء في حال حدوث طارئ

**كلمات دالة:** تقييم مخاطر الحريق , نظام الوقاية من الحرائق , الحماية من الحريق , معيار NFPA 551 , محاكاة , Lean Management FDS , تحرير مسارات الإخلاء , الصناعة 4.0 .

## Abstract

This academic research focuses on the assessment of fire risks within the Algerian company Wafa, with a particular emphasis on proposing an effective fire protection system in storage areas. The NFPA 551 standard was used as a main reference to identify high-risk zones, followed by critical fire scenario simulations using the FDS (Fire Dynamics Simulator) software, offering a realistic representation of fire behavior in an industrial environment. IN parallel, Lean Management methodology was adopted to reduce waste—especially in overstocking and unnecessary movements—while focusing on clearing evacuation routes to ensure worker safety and optimize workplace organization, within a strategic vision aligned with Industry 4.0 principles.

This study integrates technical, organizational, and digital approaches to design and implement an effective and adaptive fire prevention system tailored to the company's operational context, ensuring both safety and efficient emergency response.

**Keywords :** Fire risk assessment, Fire protection system, NFPA 551 standard, FDS simulation, Lean Management, Waste reduction, Evacuation routes, Industrial safety, Industry 4.0.

## RESUME

Ce travail académique porte sur l'analyse et l'évaluation des risques d'incendie au sein de l'entreprise Wafa, avec un accent particulier sur la proposition d'un système de protection efficace dans les zones de stockage. La norme NFPA 551 a été utilisée comme référence pour identifier les zones à haut risque, suivie par des simulations de scénarios critiques à l'aide du logiciel FDS permettant une représentation précise du comportement du feu en environnement industriel. Parallèlement, la méthode Lean Management a été appliquée pour réduire les gaspillages, notamment en matière de stockage et de déplacements inutiles, tout en libérant les voies d'évacuation afin d'assurer la sécurité du

personnel et améliorer l'organisation du travail, dans une logique d'évolution vers les concepts de l'industrie 4.0.

Ce travail s'appuie sur une approche globale combinant les dimensions technique, organisationnelle et numérique, en vue de concevoir un système de prévention efficace, adapté à la réalité de l'entreprise et garantissant une évacuation sécurisée en cas d'urgence.

**Mots clés :** Évaluation du risque d'incendie, Système de protection incendie, Norme NFPA 551, Simulation FDS, Management Lean, Réduction des gaspillages, Itinéraires d'évacuation, Sécurité industrielle, Industrie 4.0

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier du fond du cœur ma famille, dont l'amour, le soutien moral constant et les encouragements ont été une source précieuse de motivation tout au long de mon parcours universitaire. Leur présence à mes côtés, dans les moments de doute comme dans ceux de réussite, a grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma profonde reconnaissance à mes encadrants, **M. Mohamed BOUBAKEUR** et **M. M'hamed BOUSBAI**, pour leur disponibilité, leur patience et leur implication tout au long de la réalisation de ce mémoire. Leurs conseils pertinents, leur encadrement rigoureux et leur accompagnement attentif ont été essentiels à l'élaboration de ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury, **M. Hamid YOUSFI**, Professeur à l'ENP, **M. Abobakr KERTOUS** et **M. Farid LEGUEBEDJ**, pour avoir accepté d'évaluer mon travail, pour la richesse de leurs remarques et suggestions, ainsi que pour leur précieuse contribution à l'aboutissement de ce projet.

# **DÉDICACE**

## **À mes parents,**

Merci pour leur amour inconditionnel. Leur soutien moral et leur présence à chaque étape de ma vie ont été les piliers de ma réussite. Rien de tout cela n'aurait été possible sans eux.

## **À mes chères sœurs et à mon frère,**

Merci pour leur affection, leur soutien constant et leur présence réconfortante dans les moments de doute comme dans les instants de joie.

## **À mon équipe de karaté,**

Merci pour les moments partagés, pour l'exigence, la rigueur et l'esprit de dépassement que vous m'avez transmis. Chaque séance, chaque combat, chaque victoire comme chaque échec a contribué à forger ma détermination et mon caractère.

# Table des Matières

## Liste de Tableau

## Liste des Figures

## Liste des Abréviations

Introduction générale .....	17
Problématique .....	19
Méthodologie .....	20
Chapitre 1 état de l'art.....	23
Etat de l'art et référentiels de sécurité incendie .....	23
1. Etat de l'art et référentiels de sécurité incendie .....	24
1.1 Introduction .....	24
1.2 Présentation de l'entreprise .....	24
1.2 Incendie .....	26
1.2 Historique des pires incendies .....	30
1.3 Les systèmes de protection contre l'incendie dans les entrepôts .....	32
1.4 Aspect normatif des réseaux anti-incendie.....	34
chapitre 2 Evaluation de risque d'incendie selon NFPA 551 .....	37
2.1 Introduction .....	37
2.2 Définition de la norme NFPA 551 .....	37
2.3 Evaluation du risque d'incendie .....	39
2.4 ANALYSE DES RISQUES par NFPA 551 .....	47
2.4 Analyse préliminaire des risques incendie selon la grille de NFPA 551 .....	50
2.5 Le tableau complet, incluant l'ensemble des zones et scénarios analysés, est disponible en Annexe 5.....	50
2.6 CARACTÉRISATION DE LA PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES ACCIDENTS IDENTIFIÉS.....	53
2.7 Evaluation des pertes potentielles en cas d'incendie total dans la zone de stockage.....	56
2.8 Modélisation des flux thermique de les scénarios dangereux .....	61
2.9 DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES THERMOSTATIQUES : DÉBIT, HAUTEUR ET TEMPÉRATURE DES FUMÉES ÉMISES : .....	67
2.10 Les résultats de calculs des scénarios.....	70
2.11 Nœud Papillon .....	77
2.12 Nœud Papillon des scénarios N° 1, 6 et 9.....	77
chapitre 3Modélisation numérique des scénarios d'incendie à l'aide du logiciel FDS.....	80
3.1 Introduction .....	80
3.2 FDS (Fire Dynamics Simulator).....	80
3.3 Simulation de scénario dans la zone de transformation de papier .....	83
3.4. Détermination de la position des portes de secours dans FDS.....	94



3.5 Dimensionnement des dégagements conformément à la réglementation.....	102
3.6 Simulation dans la zone de stockage de matières premières.....	102
chapitre 4 Dimensionnement de systèmes anti-incendie conformes aux normes NFPA.....	121
4.1 Introduction .....	121
4.2 Diagnostic du système anti-incendie conforme aux normes NFPA .....	121
4.3 Diagnostic du système de sprinkleurs : .....	122
4.4 Types de sprinkleurs .....	124
4.5 Les composants d'un système de sprinkler sous eau.....	125
4.6 Rappel de la classification suivant NFPA 13.....	127
4.7 Étude d'Installation de système de Sprinkleurs pour les zones de stockages selon NFPA 13 .....	129
4.8 Les résultats de choix des systèmes de sprinkleurs Selon les exigences de NFPA 13 .....	136
4.9 Implantation des RIA (Robinet d'Incendie Armé) en Zone selon NFPA 14 .....	144
4.10 Implémentation de système de RIA dans les zones de stockages.....	145
4.11 Les résultats d' 'emplacement des RIA selon NFPA 14.....	147
4.12 Système des poteaux incendie .....	148
4.13 Méthodologie de dimensionnement de système de poteaux incendie selon NFPA 220.....	150
4.14. Méthode de Calcul.....	150
4.15. Les résultats d'implémentation du système de poteaux incendie dans les 3 zones de stockages .....	152
4.16 Calcul des pertes de charge et de la Hauteur Manométrique Totale (H.M.T) à l'aide de MICROSOFT Excel .....	157
4.17 La mise en place des moyens de protection dans les zones de stockages .....	162
4.18 Analyse des extincteurs selon NFPA 10 : .....	164
4.19 Correction de l'emplacement des extincteurs selon NFPA 10 .....	164
4.20 Analyse des Extincteurs Nécessaires pour les Machines dans la Zone de Transformation.....	165
4.21 La politique de cigarette .....	170
4.22 Permis de travail.....	170
4.23 Conclusion.....	173
Chapitre 5 lean management .....	174
5 Lean Management .....	175
5.1 Lean Management .....	175
5.2 Lean Management .....	175
5.3 Les 8 sources de gaspillages .....	176
5.4 Les 8 mundas.....	176
5.5 Identification les 8 sources de gaspillages .....	178
5.6 Analyse quantitative des gaspillages identifiés.....	180
5.7 L'impact des 2 types de gaspillage de Stockage excessive et de mouvement inutile dans la sécurité d'incendie.....	182
5.8 VSM : Value Stream Mapping .....	183
5.9 Identification les causes racines de sources de gaspillage de stockages excessive et mouvement inutiles par l'outil de les 5 pourquoi.....	185
5.10 Plan d'action de VSM.....	189
5.11 Tableau d'AMDEC.....	196

5.12 Proposition de tableau de maintenance d'équipement.....	198
5.13 Estimation de la surface libérée par réduction des stocks de matières premières par machines.....	204
5.14 Implémentation des 5S avec une approche de la sécurité.....	205
5.15 Plan visuelle de les 5s de gestion de stockage.....	212
5.16 Conclusion.....	215
Chapitre 6 logiciel.....	216
6.1 introduction du logiciel.....	217
6.2Présentation du logiciel.....	217
6.3 Objectifs du logiciel.....	218
Business Model Canevas de ton logiciel industriel 4.0.....	218
6.4 Modèle économique du logiciel (Business Model).....	218
6.5 Conclusion.....	221
Conclusion Générale.....	222
Les references.....	223
ANNEXE 1.....	224
ANNEXE 2.....	225
ANNEXE 3.....	226
ANNEXE 4.....	227
ANNEXE 5.....	229
ANNEXE 6.....	240
ANNEXE 7.....	249
ANNEXE 9.....	256
ANNEX 10.....	261
ANNEXE 11.....	264

**Confidentiel**