

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maitrise Des Risques Industriels et Environnementaux
Groupement Sonatrach-Eni & SERH

Mémoire de Projet de fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
d'Etat en : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques
Industriels (QHSE-GRI)

Thème

**Développement d'un système intelligent à capteur connecté pour la
gestion d'urgence industrielle suite à une perte de confinement**

Cas : unité de compression GSE algérie

Ichrak BELGUENDOUZ

Sous la Direction de : M. Amine BENMOKHTAR

Maitre conférence A, ENP

M. Hadj BOUDALIA

Ingénieur HSE, SERH

Présenté et soutenue publiquement le (01/07/2025)

Composition du jury :

Président

M. Abdelmalek CHERGUI

Professeur, ENP

Examineur

M. M'hamed BOUSBAI

Maitre conférence B, ENP

M. Mohamed BOUBAKEUR

Maitre conférence A, ENP

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maitrise Des Risques Industriels et Environnementaux
Groupement Sonatrach-Eni & SERH

Mémoire de Projet de fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
d'Etat en : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques
Industriels (QHSE-GRI)

Thème

**Développement d'un système intelligent à capteur connecté pour la
gestion d'urgence industrielle suite à une perte de confinement**

Cas : unité de compression GSE algérie

Ichrak BELGUENDOUZ

Sous la Direction de : M. Amine BENMOKHTAR

Maitre conférence A, ENP

M. Hadj BOUDALIA

Ingénieur HSE, SERH

Présenté et soutenue publiquement le (01/07/2025)

Composition du jury :

Président

M. Abdelmalek CHERGUI

Professeur, ENP

Examineur

M. M'hamed BOUSBAI

Maitre conférence B, ENP

M. Mohamed BOUBAKEUR

Maitre conférence A, ENP

تمثل إدارة حالات الطوارئ الصناعية تحدياً كبيراً في المواقع النفطية والغازية، نظراً لخطورة احتمالية فقدان الاحتواء. يقترح هذا المشروع حلاً تقنياً يعتمد على مستشعرات متصلة، مصمم خصيصاً لوحدة الضغط. تعتمد المنهجية على تحليل المخاطر، وتقسيم الوظائف بشكل منهجي، والنمذجة بواسطة مخطط العقدة الفراشية لمعالجة ثلاثة سيناريوهات حرجية: تسرب غاز يتبعه حريق، انفجار ناجم عن تراكم الغاز، وحريق ناتج عن انتشار غاز قابل للاشتعال. تم إجراء تحديد دقيق لأبعاد المستشعرات، تلاه تصميم ثلاث هياكل لإنترنت الأشياء. يضمن النظام الكشف التلقائي عن الشذوذ، والإرسال الفوري للبيانات، وتفعيل إجراءات الأمان بشكل مستقل. أظهرت النتائج انخفاضاً ملحوظاً في زمن الاستجابة وتحسناً في التنسيق. يشكل هذا الحل أداة موثوقة وقابلة للتطوير لإدارة حالات الطوارئ، ومتوافقة مع المعايير الدولية للسلامة.

كلمات مفتاحية: الحوسبة السحابية، منهجية التحليل والتصميم المنظم، مخطط العقدة الفراشية، سرعة الاستجابة، السلامة الصناعية.

Abstract

The management of industrial emergencies represents a major challenge in oil and gas sites due to the potential severity of containment loss. This project proposes a technological solution based on connected sensors, specifically designed for the compression unit. The methodology relies on risk analysis, functional decomposition using SADT, and bow-tie modeling to address three critical scenarios : gas leak followed by fire, explosion caused by gas accumulation, and fire caused by the dispersion of a flammable gas. A precise sizing of the sensors was carried out, followed by the design of three IoT architectures. The system ensures automatic anomaly detection, real-time data transmission, and autonomous triggering of safety actions. The results show a significant reduction in response time and improved coordination. This solution constitutes a reliable and scalable tool for emergency management, compliant with international safety standards.

Keywords : Cloud architecture, structured analysis and design technique, bow-tie, responsiveness, industrial safety.

Résumé

La gestion des urgences industrielles représente un enjeu majeur dans les sites pétroliers et gaziers, en raison de la gravité potentielle des pertes de confinement. Ce projet propose une solution technologique à capteurs connectés, conçue spécifiquement pour l'unité de compression. La méthodologie repose sur l'analyse de risques, la décomposition fonctionnelle *SADT*, et la modélisation par le nud papillon pour traiter trois scénarios critiques : fuite de gaz suivie d'un incendie, explosion due à l'accumulation de gaz, et incendie causé par la dispersion d'un gaz inflammable. Un dimensionnement des capteurs a été effectué, suivi de la conception de trois architectures *IoT*. Le système assure la détection automatique des anomalies, la transmission en temps réel et le déclenchement autonome d'actions de sécurité. Les résultats montrent une réduction significative du temps de réponse et une meilleure coordination. Cette solution constitue un outil fiable et évolutif pour la gestion des situations d'urgence, conforme aux normes de sécurité internationales.

Mots clés : Architecture en nuage, méthode d'analyse et de conception structurée, nud papillon, réactivité, sécurité industrielle.

Remerciements

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui m'ont accompagnée et soutenue tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à **M. Amine BENMOKHTAR**, pour son encadrement rigoureux, sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant. Son accompagnement a été fondamental pour mener à bien ce travail.

Je remercie également **M. Hadj BOUDALIA**, pour ses orientations techniques, sa disponibilité et son implication précieuse tout au long de ma mission.

Je remercie **M. Abdelmalek CHERGUI**, pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant ma soutenance.

Ma reconnaissance va également à **M. Mohamed BOUBAKEUR** et **M. Mhamed BOUSBAI**, qui ont accepté de faire partie de mon jury, pour l'attention qu'ils ont portée à mon travail et la richesse de leurs remarques.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à l'ensemble du personnel du **département HSE** de GSE Algérie, pour leur accueil, leur accompagnement et pour m'avoir offert un environnement de travail propice à l'apprentissage et à l'évolution.

Je remercie également tous les enseignants du **département QHSE-GRI** de l'École Nationale Polytechnique, pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont transmis tout au long de mon parcours.

Dédicace

À ma mère, pour son amour infini.

À mon père, pour sa force, son soutien et sa confiance en moi.

*À mes surs chéries : Habiba, Fatima et Nadjat, pour leur
présence, leurs mots et leur tendresse.*

*À Adam, mon neveu, petit trésor de notre famille, source de
lumière dans mes journées.*

*Et à moi-même, pour avoir tenu bon, cru en mes rêves, et donné
le meilleur jusqu'au bout.*

Ichrak

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

Acronymes

Introduction générale

1 Contexte général, problématique et méthodologie

1.1	Importance de la gestion d'urgence industrielle	19
1.1.1	Accidents industriels suite à un échec de la GUI	19
1.2	Problématique	21
1.3	Présentation du champ MLE	22
1.3.1	Historique du champ MLE	22
1.3.2	Processus de traitement du gaz brut	24
1.3.2.1	Description du processus de traitement du gaz	24
1.4	Objectifs et Méthodologie	26

2 Définitions et concepts

2.1	Gestion des risques industrielles (GRI)	32
2.1.1	Définition de la GRI	32
2.1.2	Objectif	32
2.1.3	Étapes de la GRI	33
2.1.3.1	Identification des dangers	33

2.1.3.2	Évaluation des risques	33
2.1.3.3	Mise en place des mesures de prévention	33
2.1.3.4	Suivi et réévaluation des risques	33
2.2	Gestion des urgences industrielles (GUI)	34
2.2.1	Définition d'une situation d'urgence	34
2.2.2	Définition de la gestion d'urgence	35
2.2.3	Phases de la GUI	35
2.2.3.1	Phase de préparation	35
2.2.3.2	Phases d'alerte	36
2.2.3.3	Réponse	36
2.2.3.4	Récupération et retour à la normale	36
2.2.4	Cadre réglementaire de la GUI	36
2.2.4.1	Plan d'Intervention Interne (PII)	37
2.2.4.2	Plan Particulier d'Intervention (PPI)	37
2.2.4.3	Plan d'Organisation de SECours (ORSEC)	37
2.2.5	Corrélation entre les phases de la GUI et les PUs	38
2.3	<i>Structured Analysis and Design Technique (SADT)</i>	38
2.3.1	Définition	38
2.3.2	Principes de la méthode <i>SADT</i>	39
2.3.3	Objectifs de la méthode <i>SADT</i>	39
2.3.4	Formalisme <i>SADT</i>	40
2.3.5	Différents niveaux de modélisation <i>SADT</i>	40
2.4	Nud Papillon	40
2.4.1	Définition	40
2.4.2	Principe de schématisation	41
2.4.3	Importance de la méthode du nud papillon	41

2.5	Généralités sur les Capteurs <i>IoT</i>	41
2.5.1	Définition	41
2.5.2	Principe de fonctionnement des capteurs <i>IoT</i>	42
2.5.3	Types de capteurs <i>IoT</i>	42
2.5.4	Transmission des données et connectivité	43
2.5.4.1	Wi-Fi	43
2.5.4.2	<i>LoRa</i>	44
2.5.4.3	5G	44
2.5.5	Traitement et analyse des données	44
2.5.6	Avantages de l'utilisation des capteurs <i>IoT</i>	44
2.6	Les protocoles de communication dans l' <i>IoT</i>	45
2.6.1	Définition	45
2.6.2	Classification des protocoles IoT	45
2.6.2.1	Protocoles de liaison	45
2.6.2.2	Protocoles réseau	46
2.6.2.3	Protocoles applicatifs	46
2.6.3	Critères de choix d'un protocole de communication <i>IoT</i>	47
2.7	Architecture d'un système <i>IoT</i>	48
2.7.1	Définition	48
2.7.2	Les principales couches d'un système <i>IoT</i>	49
2.7.2.1	Couche de perception	49
2.7.2.2	Couche de transmission	49
2.7.2.3	Couche de traitement	49
2.7.2.4	Couche applicative	49

3 Application à l'unité de compression KB-23-C01A/B

3.1	Étape N°1	52
-----	-----------	----

3.1.1	Analyse des scénarios d'accidents au sein du MLE	52
3.2	Étape Nř2	53
3.2.1	Classification et analyse des catégories de défaillances	54
3.2.2	Schématisations des nuds de papillon	58
3.2.2.1	Schématisation de l'incendie suite à une fuite de gaz (scénario nř8)	59
3.2.2.2	Schématisation de l'explosion suite à une accumulation de gaz (scénario nř23)	61
3.2.2.3	Schématisation de l'incendie suite à une dispersion de gaz inflammable (scénario nř24)	63
3.3	Étape Nř3	64
3.3.1	Justification du choix de l'unité la plus critique	65
3.3.2	Présentation de l'UC	65
3.3.3	Principe de fonctionnement de l'UC	66
3.3.4	Décomposition fonctionnelle de l'UC (KB-23-C01A/B)	66
3.4	Étape Nř4	67
4	Solution technologique	
4.1	Application au sein de l'unité de compression KB-23-C01A/B	70
4.1.1	Étape nř5.1 : Identification des paramètres critiques et des capteurs adaptés	70
4.1.2	Étapes nř5.2 Sécurisation des transmissions <i>IoT</i> à l'aide du protocole <i>LoRa</i>	79
4.1.3	Étape nř5.3 : Structure du système <i>IoT</i>	79
4.1.3.1	Composition du système	79
4.1.4	Fonctionnement du système en situation d'urgence	85

4.1.4.1	Fonctionnement du système de surveillance conditionnelle et d'intervention automatisée	86
4.1.4.2	Fonctionnement du système intégré de détection multisensorielle et extinction automatisée	87
4.1.4.3	Fonctionnement du système de détection multimodale et coupe pure automatique anti-jet enflammé	88
4.1.5	Évaluation du temps de réponse global pour les 3 systèmes	90
	Conclusion générale	92
	Bibliographie	95
	Annexes	99
	Annexe 1 : Scénarios d'accident retenus par l'EDD	99
	Annexe 2 : Check-list dévaluation des scénarios d'accidents retenu par L'EDD	119
	Annexe 3 : Fonctionnement de l'UC	127
	Annexe 4 : Décomposition fonctionnelle SADT (A0, A0 éclaté, A2, A3)	129
	Annexe 5 : Identification des barrières de protection et d'intervention	134
	Annexe 6 : Emplacement des capteurs IoT dans les diagrammes A2 et A3	137
	Annexe 7 : Fiches techniques	141

Confidentiel