

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



**Projet de fin d'étude
en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'état en QHSE-GRI**

Intitulé

**MAITRISE DES RISQUES TECHNOLOGIQUES
MAJEURS :
CAS DE LA CIMENTERIE DE M'SILA, ALGERIE**

Etudié par : **Mr. Amine Hichem LEFKIR**

Proposé par : **Mr. M. Chergui**

Encadré par : **Mme. O. HAOUCHINE**

Mr. A. BENMOKHTAR

Manager (LAFARGE)

Maître de conférences ENP

Maître-Assistant ENP

Promotion Juin 2015

DÉDICACE

A mes parents,

A ma grand-mère,

A celle qui m'est la plus chère,

Et à tous ceux que je garde dans mon cœur.

REMERCIEMENTS

Le présent rapport n'aurait pas pu voir le jour sans la contribution de nombreuses personnes à qui j'aimerais adresser mes vifs remerciements :

A Mr Chergui M. « Manager HSE pays » à LAFARGE Algérie pour m'avoir donné la chance d'effectuer mon projet au sein de LAFARGE et m'avoir accompagné tout le long de son déroulement.

A Mr Deradji L., Mr Lenclud X. et Mr Mesagier O. respectivement « Manager production », « responsable de production » et « Manager HSE » à l'usine de M'Sila pour m'avoir accordé toute leur attention et de m'avoir orienté dans mon travail.

A Mr Kadi, O. Manager à GDSS pour avoir partagé son temps et son expertise pour m'aider à conduire au mieux mon projet.

A Mme Haouchine, O. Maître de conférences à l'ENP et à Mr Benmokhtar, A. Maître-Assistant à l'ENP pour leur disponibilité, leur présence et leurs conseils qui ont contribué à l'exceptionnel encadrement dont j'ai eu l'occasion de bénéficier.

A Mme HARIK, D. Professeur à l'ENP, en qualité de présidente du jury, Mr Namane, A. Maître de Conférences à l'ENP et Mr Kertous, A. Maître-Assistant à l'ENP en tant qu'examineurs pour l'effort prodigué afin de corriger et d'apporter la touche finale au projet.

Je remercie également les employés de l'usine de M'Sila qui ont contribué de près ou de loin à mon intégration au niveau de l'usine et à la réalisation de ce projet.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements les plus sincères à toute l'équipe pédagogique qui nous a accompagnés tout au long de notre formation à l'École Nationale Polytechnique pour la qualité de l'enseignement prodigué et l'engagement dont ils ont fait preuve.

Et enfin, j'adresse mes remerciements à l'ensemble du personnel de l'École Nationale Polytechnique pour leur aide, leur sympathie et le travail qu'ils fournissent chaque jour pour que l'on puisse étudier dans les meilleures conditions.

ملخص

كان دافع هذا العمل القلق الناجم من المخاطر المحتملة في مرافق مصنع أسمنت المسيلة. هدفنا وراء هذا العمل السيطرة على المخاطر الرئيسية، وللقيام بذلك، تم تقسيم العمل إلى ثلاثة أجزاء. الجزء الأول يتعلق بسياق المشروع من خلال لمحة عامة عن عملية تصنيع الإسمنت في المصنع ومراجعة الحوادث في جميع أنحاء العالم وعلى مستوى المصنع، وأخيرا العملية المعتمدة عليها لإجراء هذا المشروع. الجزء الثاني يعرض الخطوات التي اتخذت لإجراء تحليل المخاطر استنادا على استخدام طريقتين، تحليل أولي للمخاطر وتحليل أوضاع الفشل والآثار الخاصة، كما يحدد العناصر والنتائج التي اتخذت بعين الاعتبار عند تطبيق هذه الأساليب. الجزء الثالث، يقدم حلا من خلال تصميم نظام إخماد الحرائق على مستوى مناطق المدروسة، وهذا لمعالجة أوجه القصور التي لوحظت في وسائل الحماية المتوفرة.

الكلمات الأساسية: أسمنت، المخاطر، الخطر، تحليل المخاطر، حريق.

RÉSUMÉ

Le présent travail a pour objectif la maîtrise des risques technologiques majeurs au niveau de la cimenterie de M'Sila. Il a été divisé en trois parties. La première porte sur la mise en contexte du projet à travers un aperçu sur le procédé de fabrication du ciment au niveau de la cimenterie, une revue des accidents survenus de par le monde et sur le site et enfin le processus adopté pour la conduite de ce projet.

La seconde partie, expose la démarche entreprise pour la conduite de l'analyse des risques reposant sur l'utilisation de deux méthodes, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC). Elle expose également les éléments et les résultats retenus lors de l'application de ces méthodes.

Dans la troisième partie, une solution est proposée à travers le dimensionnement d'un système anti incendie au niveau des zones ciblées par l'étude, pour remédier aux carences remarquées au niveau des moyens de protections.

Mots-clés : Ciment, Danger, Risques majeurs, Analyse des risques, Maîtrise des risques, APR, AMDEC, incendie.

ABSTRACT

The objective of this work is to control the technologic major risks that present in the cement plant of M'Sila. In order to achieve this, the work was divided into three parts.

The first, concerns the contextualization of the project through an overview of the cement manufacturing process of M'Sila, a review of major accidents which happen on the site and around the world and finally the process adopted to conduct this project.

The second part presents the steps taken to conduct the risk analysis based on the use of two methods, preliminary risk analysis (PRA) and the Failure mode and effects analysis (FMEA). It also sets out the elements and results of the application of these methods in our case.

In the third part, a solution is provided through the design of a fire fighting system on the targeted areas, to remedy to the shortcomings noticed in the means of protection.

Key words: Cement, Danger, Critical Risks, Risk Analysis, Master of risks, APR, FMEA, fire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	X
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 CONTEXTE GÉNÉRAL, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE..	2
1.1 Le ciment en Algérie.....	2
1.1.1 LAFARGE Algérie	2
1.2 Fabrication du ciment	4
1.2.1 Le ciment et ses caractéristiques.....	4
1.3 Description sommaire du procédé de fabrication du ciment	7
1.3.1 Quelques notions.....	7
1.3.2 L’usine de M’SILA.....	9
1.3.3 Procédé de fabrication du ciment.....	9
1.4 Accidents dans l’industrie du ciment.....	13
1.5 Problématique	14
1.6 Objectifs de l’étude	15
1.7 Méthodologie	16
CHAPITRE 2 RISQUES INDUSTRIELS ET LEUR MAITRISE	19
2.1 Évolution de la maîtrise des risques	19
2.2 Risques industriels	21
2.2.1 Risques professionnels.....	22
2.2.2 Risques majeurs (RM)	23
2.3 Analyse des risques technologiques majeurs.....	24
2.3.1 But et finalité	24
2.3.2 Objectifs.....	25
2.3.3 Domaine d’application.....	25

2.3.4 Démarche	26
2.4 Présentation des méthodes d'analyse de risques.....	27
2.4.1 Analyse préliminaire des risques (APR).....	28
2.4.2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)..	33
CHAPITRE 3 APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE	40
3.1 Analyse préliminaire des risques	40
3.1.1 Identification des systèmes	40
3.1.2 Critères d'évaluation.....	55
3.1.3 Déploiement et résultats.....	57
3.2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités.....	61
3.2.1 Identification des systèmes	61
3.2.2 Découpage fonctionnel	63
3.2.3 Critères d'évaluation.....	65
3.2.1 Déploiement et résultats.....	67
3.3 Recommandations.....	68
CHAPITRE 4 MESURES DE PROTECTION.....	70
4.1 Caractéristiques d'un incendie.....	70
4.1.1 Le feu	70
4.1.2 L'incendie	72
4.2 Inventaire des moyens de protection contre les incendies	77
4.3 Étude de l'implémentation d'un système anti incendie	77
4.3.1 Descriptif	78
4.3.2 Dimensionnement	82
4.3.3 Estimation des coûts	87
CONCLUSION.....	90
RÉFÉRENCES.....	92
ANNEXE A : TABLEAU APR	94

ANNEXE B : TABLEAU AMDEC.....	95
ANNEXE C : RIA	96
ANNEXE D : Lance à incendie	97
ANNEXE E : Poteau à incendie	98
ANNEXE F : Courbes du constructeur des pompes	100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Familles des ciments courants	5
Tableau 1-2 : Exigences mécaniques et physiques en termes de valeurs caractéristiques.....	6
Tableau 1-3 : Descriptif des matériaux rentrant dans la fabrication du ciment.	8
Tableau 1-4 : Composés chimiques des matières premières	11
Tableau 1-5 : Composés chimiques du clinker	12
Tableau 2-1 : Tableau type du déploiement de l'APR	33
Tableau 2-2 : Modes de défaillances généraux	37
Tableau 2-3 : Modes de défaillances génériques	38
Tableau 2-4 : Tableau type du déploiement de l'AMDEC	39
Tableau 3-1 : Découpage du système N°1	46
Tableau 3-2 : Découpage du système N°2	53
Tableau 3-3 : Échelle de probabilité.....	55
Tableau 3-4 : Échelle de criticité.....	56
Tableau 3-5 : Hiérarchisation des risques du système N°1	58
Tableau 3-6 : Hiérarchisation des risques du système N°2	59
Tableau 3-7 : Caractéristiques techniques de l'ID FAN	62
Tableau 3-8 : Échelle de probabilité.....	66
Tableau 3-9 : Échelle de gravité.....	66
Tableau 3-10 : Échelle de détection	66
Tableau 3-11 : Hiérarchisation des risques du système N°3	68
Tableau 3-12 : Impact de la mise en œuvre des recommandations sur la répartition des risques	69
Tableau 4-1 : Inventaire des moyens de lutte contre les incendies dans les installations.....	78
Tableau 4-2 : Estimation du diamètre des conduites d'alimentation des RIA	85
Tableau 4-3 : Estimation des coûts de l'installation du système anti incendie proposé	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Exemple de ciment produit par LAFARGE Algérie	7
Figure 1-2 : Vue d'ensemble de la cimenterie de M'Sila	9
Figure 1-3 : Étapes de la fabrication de la farine	10
Figure 1-4 : Étapes de la cuisson du clinker.....	11
Figure 1-5 : Processus généralisé de maîtrise des risques technologiques majeurs.....	17
Figure 2-1 : Processus de gestion des risques	26
Figure 2-2 : Démarche d'analyse des risques technologiques majeurs.....	27
Figure 2-3 : Principes de la méthode APR.....	29
Figure 2-4 : Déroulement de la méthode APR.....	32
Figure 2-5 : Principes de l'AMDEC	36
Figure 3-1 : Processus de préchauffage de la matière	41
Figure 3-2 : Tour de préchauffage.....	41
Figure 3-3 : Plan de la tour.....	42
Figure 3-4 : Carneau d'entrée du cyclone	43
Figure 3-5 : Clapet papillon	44
Figure 3-6 : Matériel de mesure	45
Figure 3-7 : Disposition des air-chocs au niveau du calcinateur.....	45
Figure 3-8 : Schéma des sous-systèmes composant la tour de préchauffage.....	48
Figure 3-9 : Schéma des sous-systèmes composant le système de refroidissement	50
Figure 3-10 : Refroidisseur à grilles mobiles	51
Figure 3-11 : Pompes à huile.....	52
Figure 3-12 : Distribution de l'air de refroidissement dans le refroidisseur	54
Figure 3-13: Matrice de hiérarchisation des risques	57
Figure 3-14 : Répartition des ENS en fonction de la criticité de leurs risques pour le système de préchauffage	58
Figure 3-15 : Répartition des ENS en fonction de la criticité de leurs risques pour le système de refroidissement	60
Figure 3-16 : Vue de l'extérieure de l'ID Fan.....	61
Figure 3-17 : Schéma des sous-systèmes composant l'ID FAN	62
Figure 3-18: Découpage fonctionnel de l'ID FAN	63

Figure 3-19 : Composants de la turbine	63
Figure 3-20 : Composants du moteur	64
Figure 3-21 : Composants de l'accouplement.....	65
Figure 3-22 : Répartition des modes de défaillances en fonction de la criticité de leurs risques pour le système ID FAN.....	67
Figure 4-1 : Triangle de feu.....	71
Figure 4-2 : Les cinq phases d'un incendie	73
Figure 4-3 : Processus de l'étude de l'implantation d'un système anti incendie	78
Figure 4-4 : Situation des zones (vue de haut)	79
Figure 4-5 : Implantation des équipements du réseau anti incendie	80
Figure 4-6 : Cheminement du réseau de tuyauterie.....	82
Figure 4-7 : Implantation des équipements et le réseau anti incendie au niveau de la tour de préchauffage.	86

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effet et de leur Criticité
APR	Analyse préliminaire des risques
APSAD	l'Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages
AR	Analyse des Risques
C	Criticité
Cs	Coefficients de simultanéité
DN	Diamètre Normalisé
D _{op}	Diamètre optimal
ENS	Évènement Non Souhaité
ED	Élément Dangereux
F	Fréquence
G	Gravité
HMT	Hauteur Manométrique
IANOR	Instituts Algérien de Normalisation
ICPE	Installations Classées par la Protection de l'Environnement
ILO	International Labour Organization
MPa	Méga Pascal
NA	Norme Algérienne
NF	Norme Française
PI	Poteaux d'Incendie
Q	Débit
RIA	Robinets d'Incendie Armés
RM	Risque Majeur
RTM	Risque Technologique Majeur
SD	Situation Dangereuse

INTRODUCTION

Les installations industrielles de grande envergure (cimenterie, pétrochimique) présentent des faiblesses en matière de maîtrise des risques. L'avènement sur l'année de 2013 de 1423 incidents répertoriés par la base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) en est la preuve. En Algérie, le partage d'expérience avec les sociétés multinationales (Lafarge, etc.) installées dans le pays ainsi que les exigences de plus en plus strictes dictées par la réglementation nationale dans ce sens ont conduit à une réelle prise de conscience dans le domaine de la gestion des risques industriels.

L'inquiétude que nourrit la présence de dangers potentiels (matières chaudes) au niveau de la cimenterie de M'Sila, chez les parties prenantes (employés, employeurs, autorités etc.) est d'autant plus grandissante. Les répercussions désastreuses que peuvent avoir les accidents qui découlent de ces dangers, autant sur le plan économique, social qu'environnemental, constituent un argument de force pour la maîtrise des risques technologiques majeurs présents sur le site.

Pour aboutir à la maîtrise des risques technologiques majeurs, il faut d'abord adopter une démarche d'analyse des risques qui nous permettra de cibler les systèmes, d'identifier les dangers et d'évaluer les risques qu'ils représentent. Ensuite, à partir des résultats de l'analyse, proposer des solutions et accompagner leurs applications.

Les analyses menées dans la conduction de ce projet se sont déroulées sur site après consultations des différents départements de la cimenterie (production, procédé, sécurité, maintenance etc.), afin de reproduire le plus fidèlement la situation réelle et de mettre en avant le caractère multidisciplinaire qui nuance notre analyse des risques.

Le présent rapport comporte quatre chapitres qui étayeront chacun à leur tour le travail effectué pour la maîtrise des risques technologiques majeurs au niveau des installations ciblées.

Le premier chapitre est consacré au contexte général, à la problématique abordée et à la méthodologie suivie dans la réalisation du projet. Le second chapitre, traite des risques industriels en exposant les principes de la démarche conduite pour leur maîtrise. Le troisième chapitre est consacré à l'application des méthodes d'analyses (analyse préliminaire des risques et de l'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités) et aux résultats relevés de celle-ci. Dans le quatrième et dernier chapitre nous exposerons la mise en œuvre d'une solution en matière de protection.

CHAPITRE 1 CONTEXTE GÉNÉRAL, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

L'industrie du ciment étant considérée comme le poumon du développement urbain, elle constitue en Algérie un enjeu d'autant plus important, car le pays est considéré comme faisant partie des pays en voie de développement, ce qui se traduit par le fleurissement de projets de construction de grande envergure d'où la demande grandissante dans le domaine des matériaux de constructions, à leur tête le ciment.

Ce chapitre traitera tout d'abord du ciment et de son procédé de fabrication au niveau de l'usine de M'SILA. Ensuite, il mettra en revue quelques accidents survenus dans des cimenteries à travers le monde et en Algérie. Enfin il traitera de la formulation de la problématique et de la méthodologie suivie entre autre pour la conduction du projet dans le but d'apporter des éléments de réponse à celle-ci.

1.1 Le ciment en Algérie

La demande de ciment dans un pays est en règle générale soutenue par l'augmentation du revenu par habitant. La croissance démographique, l'industrialisation et les progrès de l'urbanisation qui entraînent des besoins en logements et en infrastructures ont également pour effet une consommation croissante.

L'Algérie enregistre, selon le Ministère de l'Industrie et des Mines Algérien (2013), une demande en ciment qui s'élève à environ 28 millions de tonnes par an et la production nationale est de 20 millions de tonnes par an, le déficit dans la production est comblé par le marché de l'importation qui représente une valeur de 300 millions d'euro par an soit environ 33 300 000 000 dinars algériens.

1.1.1 LAFARGE Algérie

Lafarge est leader mondial des matériaux de construction (en termes de chiffre d'affaires). Le groupe est leader mondial sur le marché du ciment, deuxième producteur



mondial sur le marché des granulats et béton et troisième producteur mondial de béton prêt à l'emploi et de plaques de plâtre. Le groupe est présent dans 78 pays, avec 78 000 collaborateurs[1].

En Algérie, Lafarge possède deux cimenteries (avec une capacité totale de production qui dépasse les 8 millions de tonnes (MT) de ciment dont 0,5 MT de ciment blanc ce qui représente 35% de part de marché) :

- ✓ Une cimenterie à M'Sila, à 240 km au sud-est d'Alger avec une capacité de production qui avoisine les 5 MT par an de ciment gris.
- ✓ Une cimenterie à Oggaz, près d'Oran, avec une capacité de production de 3 MT par an de ciment gris et 0,5 MT par an de ciment blanc.

LAFARGE gère aussi, en partenariat avec le Groupe Industriel des Ciments en Algérie (GICA), la cimenterie de Meftah et compte 22 centres de production de béton d'une capacité de 1Mm³. Lafarge-Algérie compte plus de 2600 collaborateurs et s'investit dans le développement d'actions citoyennes envers ses communautés.

Au travers de sa politique Santé et Sécurité, Lafarge Algérie s'engage à prendre des mesures concrètes pour éliminer les accidents, les blessures et les effets sur la santé liés aux conditions de travail. Elle s'appuie sur une feuille de route ambitieuse, qui couvre tous les domaines liés à la performance en termes de santé et sécurité :

- L'application systématique des standards et directives de sécurité.
- L'information et la formation des collaborateurs et sous-traitants.
- Le leadership et la responsabilisation des managers.
- La mise en place de procédures de *reporting* des incidents.
- Des audits réguliers sur le terrain.
- Le partage des bonnes pratiques.

1.2 Fabrication du ciment

La fabrication du ciment fait appel à de nombreuses techniques et technologies. En vue des différentes étapes par lesquelles passent les matières premières, celles-ci nécessitent le déploiement de grands moyens humains et matériels, ce qui génère en parallèle des risques aussi nombreux que critiques.

1.2.1 Le ciment et ses caractéristiques

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, mélangé avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par la suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment est classé en catégories selon la proportion des matières qui le composent. D'après la norme NA 442 émise par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR), nous retrouvons 27 produits (ciments) regroupés en 5 principaux types [2] :

- ✓ CEM I Ciment Portland ;
- ✓ CEM II Ciment Portland composé ;
- ✓ CEM III Ciment de haut fourneau ;
- ✓ CEM IV Ciment pouzzolanique ;
- ✓ CEM V Ciment composé

Le tableau 1-1 regroupe les différents ciments et leur composition.

Tableau 1-1 : Familles des ciments courants [2]

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires		
			Constituants principaux												
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D ^{b)}	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné T	Calcaire				
Naturelle P	Naturelle calcinée Q	Siliceuse V				Calciq W	L	LL							
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
	Ciment Portland au laitier	CEM III/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM III/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM III/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM III/B-Q		65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
CEM II	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM III/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM III/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM III/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM III/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM III/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM III/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM III/A-M	80-94	← 6-20 →									0-5		
		CEM III/B-M	65-79	← 21-35 →									0-5		
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	← 11-35 →				—	—	—	—	—	0-5	
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 →				—	—	—	—	—	0-5	
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →		—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →		—	—	—	—	—	—	—	0-5

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.

c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM III/A-M et CEM III/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'article 8).

L'un des critères prépondérant qui détermine la qualité d'un ciment est sa résistance. Il existe deux types de résistances mesurées en Méga Pascal (MPa) dans le cadre de procédures normalisés par des exigences internationales et nationales :

- Résistance à court terme : Résistance à la compression, par des tests après 2 et 7 jours dans des conditions bien déterminées conformément à la norme NA 234.
- Résistance courante (long terme) : Définit en premier lieu le prix du ciment et son utilisation par la suite, les procédures de la détermination de cette résistance sont normalisées selon des normes algériennes (NA).

Le tableau (1-2) résume les seuils des différentes résistances en MPa et les catégories de ciments auxquelles ils correspondent.

Remarque : À chaque classe de résistance courante (28 jours), correspond deux classes de résistance à court terme, une classe de résistance à court terme ordinaire (notée N) et une classe de résistance à court terme élevée (notée R).

Tableau 1-2 : Exigences mécaniques et physiques en termes de valeurs caractéristiques[2]

Classe de résistance	Résistance à la compression MPa				Temps de début de prise min	Stabilité (expansion) mm
	Résistance à court terme		Résistance courante			
	2 jours	7 jours	28 jours			
32,5 N	—	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	—				
42,5 N	≥ 10,0	—	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	—				
52,5 N	≥ 20,0	—	≥ 52,5	—	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	—				

Prenons un exemple d'un type de ciment fabriqué par LAFARGE Algérie au niveau de l'usine de M'Sila.

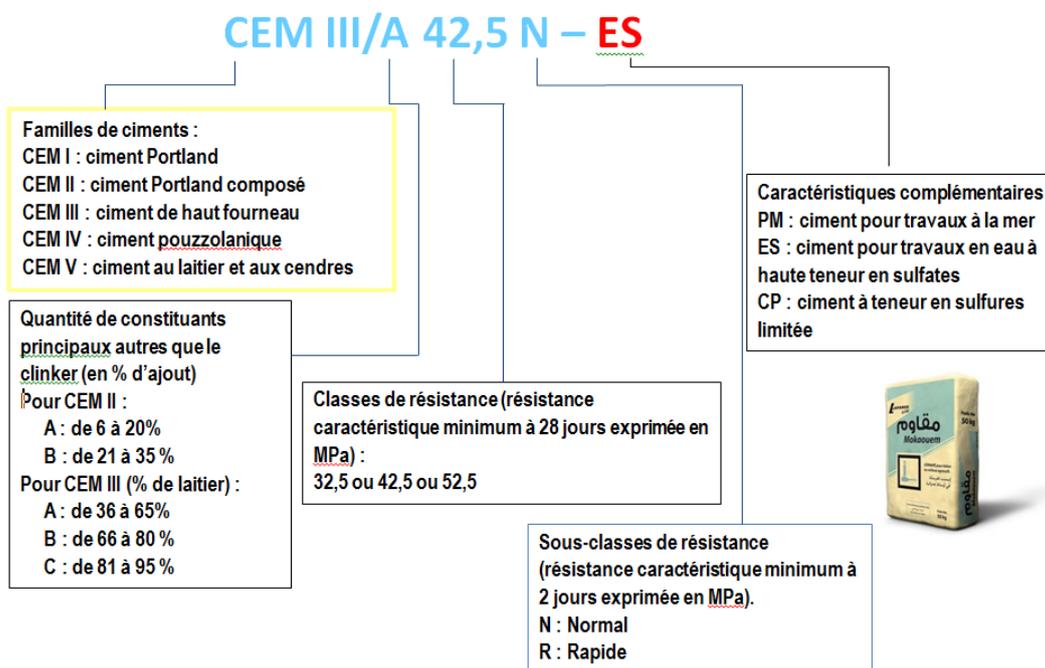


Figure 1-1 : Exemple de ciment produit par LAFARGE Algérie [LAFARGE]

1.3 Description sommaire du procédé de fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un processus complexe qui commence de l'extraction des matières premières de la carrière à l'expédition ou la vente du ciment. Le processus de fabrication du ciment fait appel à plusieurs étapes de transformations physiques et chimiques dans le but d'obtenir les caractéristiques recherchées dans le ciment.

1.3.1 Quelques notions

Les termes résumés dans le tableau 1-3 constituent le lexique adopté dans le milieu cimentier, ce qui permettra de fixer quelques notions de bases qui seront utiles pour la compréhension des procédés de fabrication.

Tableau 1-3 : Descriptif des matériaux rentrant dans la fabrication du ciment.

Terme	Aspect	Source
Les matières premières	Matériau de granulométrie comprise entre la poudre fine et 1 m environ pour les blocs venant de la carrière.	Obtenu par extraction de la carrière pour le calcaire et les argiles ou marnes, livrés par camion, train ou voie fluviale pour les éventuelles matières manquantes.
Le cru	Matériau de granulométrie comprise entre 1 et 35 mm environ.	Obtenu par mélange de produits « argileux » et de produits calcaires extraits de carrières. Parfois la carrière ne contient pas suffisamment de produits argileux, ceux qui manquent sont apportés par les matières de correction (bauxite, cendres de pyrites ou volantes, minerai de fer, sable, silice...).
La farine crue	Matériau de granulométrie comprise entre 0 et 200 μm maximum.	Obtenu par broyage et séchage du cru dosé venant du hall de pré-homogénéisation.
Le clinker	Matériau gris noir (ou blanc dans le cas des ciments blancs) en « billes » de granulométrie comprise entre 1 et 30 mm (des crus difficiles à cuire peuvent donner un clinker ayant une granulométrie beaucoup plus dispersée).	Obtenu par cuisson à haute température (1450°C) de la farine crue suivie d'un refroidissement énergique pour conserver les qualités acquises lors de la cuisson.
Le ciment	Poudre grise très fine (ou blanche dans le cas des ciments blanc) de granulométrie comprise entre 1 et 150 μm .	Obtenu par broyage simultanée de clinker et de gypse avec éventuellement des matières d'ajout.

1.3.2 L'usine de M'SILA

Située au niveau de la wilaya de M'Sila dans la commune de Hammam Dallaa, l'usine est la propriété de Lafarge Algérie depuis 2008. L'installation génère près de 1000 emplois directs et environ 8000 emplois indirects, elle est considérée comme la plus grande cimenterie du pays [LAFARGE].

L'usine comporte deux lignes identiques de production en continue de ciment par voie sèche qui ont généré 3,25 millions de tonnes de clinker 2014, celui-ci a servi à produire 4,8 millions de tonnes de ciment qui représente près de 25% de la production nationale en ciment.



Figure 1-2 : Vue d'ensemble de la cimenterie de M'Sila [LAFARGE]

1.3.3 Procédé de fabrication du ciment

Le procédé de fabrication du ciment peut être divisé en trois grandes parties qui ont pour rôle :

- La préparation du cru ;
- la cuisson de la farine ;
- le Broyage du ciment.

✓ Préparation du cru

La préparation du cru constitue le premier atelier de la chaîne de fabrication. Il conditionne la qualité du produit fini (le ciment) puisque la composition chimique recherchée doit être réalisée dans cet atelier.

La fabrication du cru commence à la carrière et se termine au silo de stockage avant le four (figure 1-3). Pour obtenir, dans le silo, une farine crue (procédé voie sèche) homogène et à la qualité souhaitée, les fonctions à assurer sont principalement des transformations physiques : le concassage, le dosage, le broyage/séchage, et l'homogénéisation.

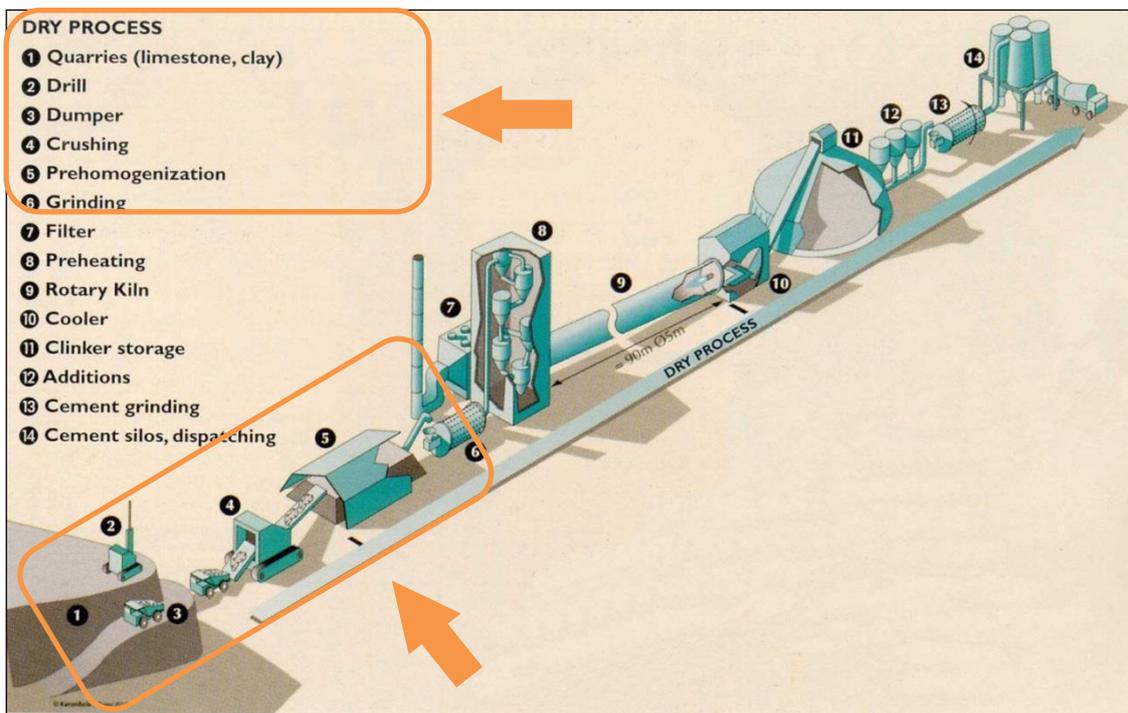


Figure 1-3 : Étapes de la fabrication de la farine [LAFARGE]

✓ Cuisson de la farine

La cuisson de la farine constitue la deuxième étape de la fabrication du ciment, c'est au niveau de cette étape que nous parlons de transformation chimique qui se caractérise par le réagencement des composés chimiques contenus dans la farine.

Tableau 1-4 : Composés chimiques des matières premières

Symbole de l'industrie du ciment	Symbole chimique	Appellation chimique
C	CaO	Chaux
S	SiO ₂	Silice
A	Al ₂ O ₃	Alumine
F	Fe ₂ O ₃	Oxyde de fer

La cuisson de la farine commence en haut de la tour de préchauffage et se termine par le silo de stockage du clinker (figure 1-4).

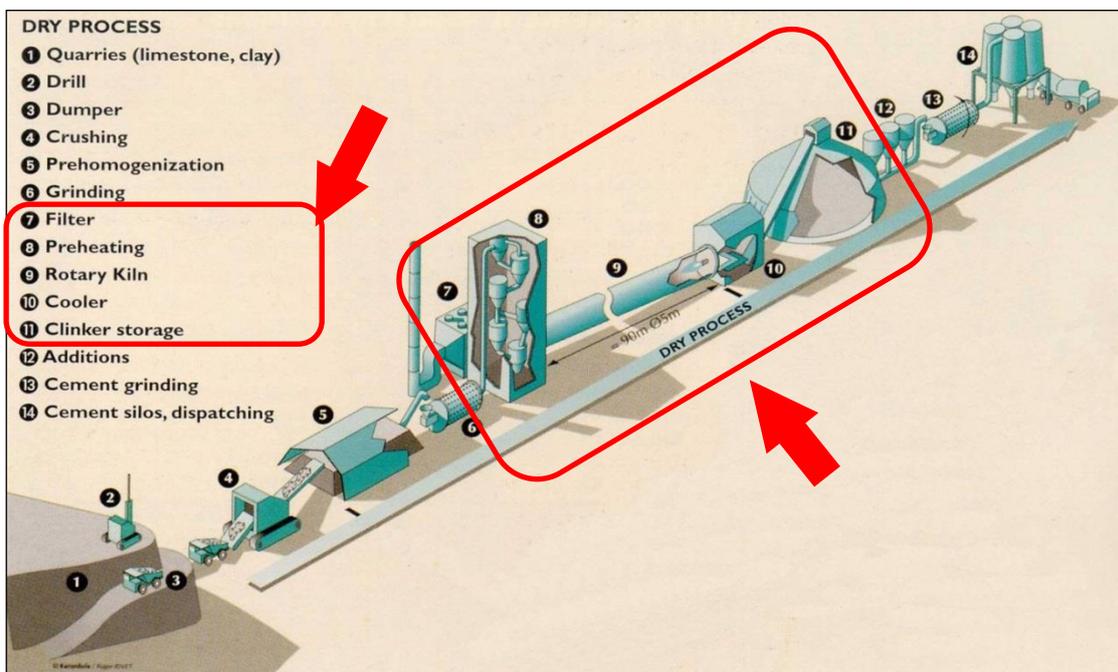


Figure 1-4 : Étapes de la cuisson du clinker [LAFARGE]

Pour obtenir un clinker conforme, la farine passe par un préchauffage au niveau de la tour ou, par échange thermique avec les gaz du four et une pré-cuisson dans le calcinateur, elle subit les premières transformations chimiques, à savoir la déshydratation et la décarbonatation, jusqu'à atteindre une température de 1000 °C à l'entrée du four. Par la suite sous l'effet de la flamme du brûleur principal du four, au fur et à mesure que la matière avance dans le four, les complexes chimiques atypiques du clinker commencent à se former jusqu'à atteindre la température de 1450°C (tableau 1-5). Ensuite, le clinker en fusion se

déverse au niveau du refroidisseur qui abaisse sa température avec un soufflage d'air ambiant, pour qu'à la fin les grosses boules de clinker passent par un concasseur à marteaux. Pour finir les boules de clinker se déversent dans une trémie qui alimente le silo de stockage du clinker.

Tableau 1-5 : Composés chimiques du clinker

Appellation	Symbole	Températures de formation	Fonction
Alite	C_3S	Plus de 1420 °C	Résistance à court terme
Bélite	C_2S	1338 à 1420 °C	Temps de prise
Aluminate de Calcium	C_3A	1228 à 1338 °C	Résistance courante
Ferro-Aluminate de Calcium	C_4AF	1228 à 1338 °C	Fait fondre la matière et donne la couleur du clinker

✓ **Broyage du ciment**

Le broyage du ciment et son conditionnement constituent la dernière étape de la fabrication du ciment. C'est au niveau de cette étape que nous décidons des types de ciments à produire, selon les proportions d'ajouts par rapport à la proportion du clinker qui composent le ciment.

L'ajout principal utilisé lors de l'opération du broyage qui se fait à 100°C est le gypse, qui est considéré comme un retardateur de prise. Il ralentit l'hydratation des cristaux de C_3A , responsables de la prise du ciment à court terme.

1.4 Accidents dans l'industrie du ciment

Si nous remontons jusqu'au début du 21^{ème} siècle, la base de données « Analyse, Recherche et Information sur les Accidents » (ARIA), nous rapporte deux accidents significatifs qui se sont déroulés en France.

Le plus récent est survenu au niveau de la cimenterie LA COURONNE en France, le 16 Octobre 2014, un feu s'est déclaré vers 2h30 dans la tour de préchauffage de 5 étages. Un opérateur effectuant une ronde aperçoit la fumée et donne l'alerte. Le contremaître en salle de contrôle stoppe la ligne de cuisson, déclenche le plan de sécurité interne et alerte les pompiers. Ces derniers éteignent l'incendie vers 9 h. L'un d'eux, brûlé est transporté à l'hôpital. Une fuite de matière chaude (farine crue à 700 °C) à la base du cyclone de la tour est à l'origine de cet incendie. La matière a ensuite coulé dans les étages inférieurs au travers des caillebotis et a enflammé des câbles électriques et des flexibles. Le feu s'est ensuite propagé le long des câbles. Le four a été arrêté pendant 8 jours pour des interventions. Un détail important à retenir, la base du cyclone avait été réparée début 2014 et devait être changée début 2015 [3].

Si nous remontons plus loin, le 28 Septembre 2005 à PORT-LA-NOUVELLE, une baisse brutale du régime de l'un des ventilateurs principaux de la cimenterie (ventilation des gaz constitués d'air secondaire, de fumées et de poussières de la tour échangeur vers le filtre principal) entraîne la montée en pression de l'ensemble des installations et le rejet à l'atmosphère de 400 à 500 kg de poussières durant 3 min 45 sec. Les émissions gazeuses portées et dispersées par les vents sur la commune sont largement perçues par les riverains, quelques biens ayant été couverts de poussières. L'incident a eu lieu alors que le programme informatique de conduite des installations était en cours de modification; il s'agit d'une pratique courante pour assurer le maintien des performances des unités au niveau de la sécurité, de l'environnement, de la qualité et de la production. Ce système est pourvu de nombreuses sécurités positives, mais le scénario de cet accident n'avait pas été envisagé [3].

Quant à l'usine de M'Sila, un accident a été enregistré le 20 Novembre 2013 à 13h30. L'arrêt du four a été déclenché par *interlock* (commande automatique) de pression au niveau du cône cyclone. Au moment de l'arrêt du ventilateur de tirage (ID fan), une explosion au niveau de la conduite cyclone a été entendue et une fuite de matière s'est

déclenchée d'une porte de débouillage installée sur la conduite du cyclone 5. Il y a eu un dégagement de matière chaude et la formation d'un nuage de poussière important qui s'est dirigé vers la deuxième ligne de production. Un départ d'incendie a été provoqué par la matière chaude au niveau des câbles du portique gaz du calcinateur et des commandes des air-chocs. L'accident n'a causé aucune perte humaine, mais il a conduit à l'arrêt de la production et la détérioration des équipements électriques.

Regardons de plus près cet incident, les causes profondes qui ressortent sont dans un premier lieu d'ordre organisationnel, relevant de la sensibilisation quant à la fixation des portes de visites après les interventions effectuées. Par ailleurs, elles relèvent du manquement au niveau des contrôles périodiques des portes de visites qui constituent les points faibles des conduites. Des actions ont été entreprises dans ce sens à travers un plan d'action pour prévenir l'avènement d'un tel incident. Néanmoins un aspect qui n'est pas des moindres est apparu lors de cet événement, c'est la carence au niveau de la protection et de l'intervention dans des situations similaires. Un aspect qui n'est pas à négliger, car même si la catastrophe a été évitée de peu, cet incident constitue un signe annonciateur de scénarios dont les conséquences peuvent être plus graves. Il est donc pertinent d'exploiter de tels incidents et les mesures qui ont été prises en conséquence pour constituer le retour d'expérience sur lequel se base les expertises et les analyses de risques effectuées à posteriori.

1.5 Problématique

L'industrie du ciment occupe une place de premier rang au niveau de l'économie et du développement à l'échelle nationale d'une part. Cette industrie lourde nécessite une installation aussi complexe qu'imposante pour assurer sa mission d'autre part. De ces installations émanent plusieurs risques prépondérants qui découlent de potentiels de danger inhérent à l'installation et aux matières utilisées.

Face aux défis de production journaliers et aux conséquences dévastatrices que pourraient avoir un accident majeur sur les cibles humaines, matérielles et environnementales au niveau de l'usine et au-delà, il est indispensable de considérer les risques que présentent les installations exploitées, les potentiels de danger des matières utilisées et les pertes encourues en cas de non-maîtrise de ces risques.

Les parties les plus sensibles identifiées au niveau de l'installation se trouvent au niveau de l'étape la plus importante dans la fabrication du ciment, à savoir l'étape de cuisson de la matière. Cette partie de l'installation, de par les équipements qui la constituent, du potentiel de danger que présente la matière à cette étape (température élevée) et des substances utilisées dans la cuisson (gaz naturel), présente des risques importants.

La question que nous nous posons et à laquelle nous nous proposons de répondre à travers notre travail est la suivante : par quelle approche pouvons-nous ressortir avec des mesures efficaces de réduction des risques inhérents à la partie de l'usine ciblée et quels sont les moyens de protection à mettre en place pour éviter qu'un accident de grande envergure ne se produise au niveau de la cimenterie de M'SILA ?

1.6 Objectifs de l'étude

Les objectifs constituent un outil organisationnel indispensable au cadrage du projet. Ils ont été établis et fixés de façon à constituer les étapes discrétisées par lesquelles il est indispensable de passer. Ces objectifs une fois atteints de manière chronologique comme leur ordre l'impose, servent à atteindre un objectif général : la maîtrise des risques technologiques majeurs des installations ciblées.

- ✓ **Objectif 1** : Familiarisation avec le procédé de fabrication du ciment plus particulièrement la partie cuisson.
- ✓ **Objectif 2** : Inventaire des moyens matériels et administratifs en place pour la prévention et la protection contre les accidents majeurs dans la partie ciblée de l'installation.
- ✓ **Objectif 3** : Déploiement de l'analyse des risques majeurs en faisant appel à des outils pertinents.
- ✓ **Objectif 4** : Formulation d'une démarche généralisée et générique pour l'analyse des risques technologiques majeurs.

- ✓ **Objectif 5** : Proposition de mesures protectives matérielles et administratives pour la maîtrise et la gestion des risques qui ressortent de l'analyse des risques préalablement conduite.

1.7 Méthodologie

Pour l'atteindre l'objectif général en passant par les objectifs intermédiaires prédéfinis pour la conduite du projet, et également apporter des éléments de réponse à notre problématique, le processus qui a été suivi repose sur deux grands axes : l'exploration et la méthodologie. La figure 1-5 résume la démarche générale suivie. Elle comporte deux niveaux :

- Le premier représente la mise en contexte et l'émission d'un constat de départ.
- La deuxième comporte la mise en œuvre de l'analyse des risques en fonction des résultats obtenus dans le premier niveau.

Le processus donné la figure 1-5 comporte des éléments qui interagissent dans le sens transversal soulignant les explorations conduites, tandis que l'évolution dans le sens vertical met en avant les méthodes et les outils auxquels nous faisons appel.

Le processus suivi dans notre cas a été le suivant :

1^{er} niveau : Au niveau de l'usine de M'Sila la propriété de LAFARGE Algérie a été exprimé un besoin et des préoccupations quant aux risques liés aux installations de l'atelier de cuisson. Cela a conduit à l'exploration du site en s'imprégnant du procédé de fabrication, et ensuite à cibler et à découper les systèmes qui vont ensuite faire l'objet de l'analyse. Le constat a été établi nous a permis d'axer notre travail sur les risques technologiques majeurs.

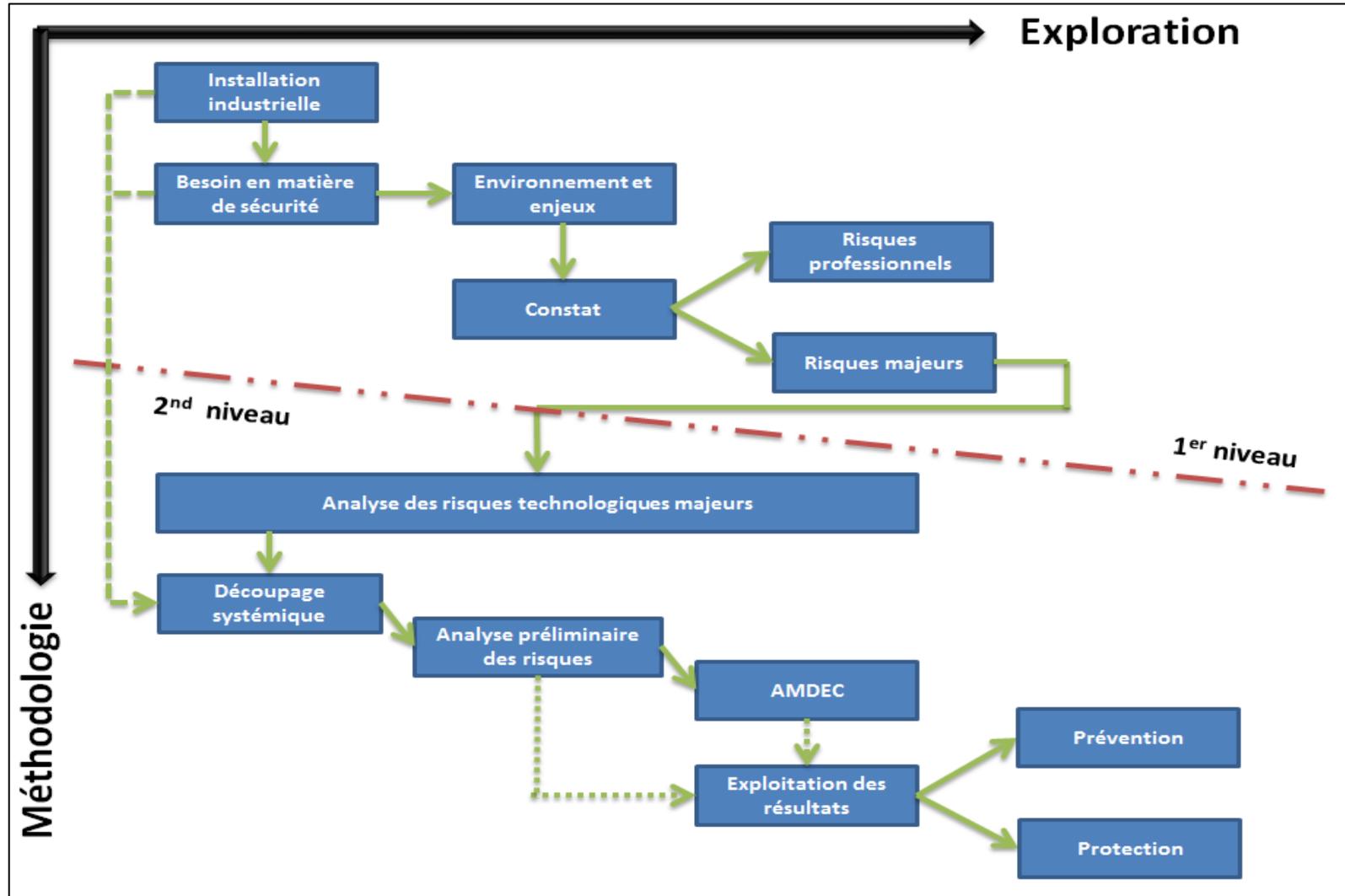


Figure 1-5 : Processus généralisé de maîtrise des risques technologiques majeurs

2nd niveau : Une fois les risques majeurs sélectionnés, la démarche entreprise pour la conduite de l'analyse repose sur l'utilisation de deux méthodes, l'Analyse préliminaire des risques (APR) concernant les deux systèmes identifiés (préchauffage et refroidissement) qui a conduit à l'identification d'un 3^{ème} système (Ventilateur ID FAN). Ce dernier a fait l'objet de l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC). Les éléments et les résultats retenus du déploiement des méthodes d'analyses ont souligné des carences au niveau des moyens de protection mis en œuvre. Ces manquements feront l'objet de mise en place d'une solution adaptée.

Les chapitres qui vont suivre vont aborder plus en détails les étapes résumées dans le processus suivi.

CHAPITRE 2 RISQUES INDUSTRIELS ET LEUR MAITRISE

Les risques industriels sont nés avec la naissance de l'industrie, mais ils n'ont pas été au centre des préoccupations qu'après l'avènement de malheureux événements (catastrophes industrielles) conduisant à des pertes inestimables. Ceci a motivé le milieu industriel à adopter des mesures dans le but de maîtriser ces risques qui ont le potentiel de causer de nombreuses pertes (humaines, matérielles et environnementales). Ces conséquences à leur tour portent atteinte à l'image de marque de l'entreprise.

Dans ce chapitre, il sera mis en avant une synthèse de l'évolution de la maîtrise des risques dans le temps et de la culture qui s'est enrichie autour de la sécurité. Il sera aussi question de la classification des risques industriels et par la suite, de l'analyse des risques industriels majeurs et de notre démarche qui va déboucher sur la présentation des deux méthodes d'analyse qui ont été utilisées.

2.1 Évolution de la maîtrise des risques

La révolution industrielle (fin du XVIIème siècle) qu'a connu le monde, communément décrite comme le passage d'une société artisanale vers une société commerciale et industrielle, a nourri l'évolution voltigeuse des technologies et techniques de production. L'industrialisation effrénée des différents secteurs de production a touché différents secteurs notamment le secteur de l'énergie avec la naissance des premières exploitations en masse de charbon en France ainsi que dans d'autres pays ayant découvert des ressources minières. Le secteur de l'industrie du charbon s'est vu accompagné d'évènements malheureux, dont l'impact social s'est fait ressentir à travers le fort taux de décès chez les mineurs dus aux conditions de travail déplorables. L'avènement de la catastrophe de Courrières (France) du 10 mars 1906, avec ses 1 099 victimes, a nourri la prise de conscience générale du réel danger présenté par les poussières de charbon qui ont été la cause principale. Cela a poussé à réagir à différents niveaux, techniques, sociaux, réglementaires, et à se mobiliser pour mettre en œuvre les moyens afin qu'un tel évènement ne se reproduise plus [4].

De nombreuses catastrophes industrielles dans le monde sont survenues par la suite, au-delà de la connotation négative prédominante d'une catastrophe qui renvoie aux victimes

déplorées et aux dégâts engendrés, dans le domaine de la sécurité de tels événements ont contribué à la naissance de la culture de sécurité et à son développement, des enseignements précieux, de par les analyses conduites à postériori, ont été tirés des grandes catastrophes industrielles.

L'exemple le plus connu à travers les mesures qui ont en découlé, est la catastrophe de SEVESO en Italie. Le 10 juillet 1976, un accident chimique catastrophique survient à Icmesa, usine chimique italienne produisant des herbicides, et touche quatre communes dont Seveso, située au nord de l'Italie en Lombardie. Bien qu'elle n'eut fait aucune victime directe, il a été déploré plus de 200 brûlures chimiques de la peau dues à la substance libérée (« 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine »TCDD) qui fût baptisée par la suite la dioxine de SEVESO, rajoutant à cela, plus de 37000 personnes exposées, le décès de 3300 et l'abattage de plus de 81000 animaux. Suite à cela, une prise de conscience s'est installée. Les autorités européennes décident de réagir et publient en 1982 la directive dite « SEVESO I », imposant le recensement des établissements industriels présentant des risques d'accidents majeurs. En 1999, la directive « SEVESO II » a été publiée, puis «Seveso III» le 24 juillet 2012 qui est la plus récente [5].

En Algérie, l'industrialisation est fortement présente dans le secteur le plus pesant sur l'économie nationale : les hydrocarbures (exploitation du gaz et du pétrole). Selon les données avancées par la Société Algérienne de Recherche, d'Exploitation, de Transport par Canalisation, de Transformation et de Commercialisation des Hydrocarbures et de leur dérivés (SONATRACH), les exportations de pétrole et de gaz assurent à elles seules assurent 95% des ressources en devises de l'Algérie. Ce secteur, si important soit-il, n'a pas été épargné par les catastrophes. L'une des plus importantes que l'Algérie n'ai jamais connu est celle de Skikda. Le 19 janvier 2004, une défaillance technique dans une chaudière du complexe GNL3 a provoqué une explosion, le bilan de la catastrophe est de 27 morts et 74 blessés parmi les travailleurs. Malgré ce malheureux événement, il y eu d'autres catastrophes sur le même site en 2005 et 2006, entre temps les autorités Algériennes ont promulgué de nouvelles réglementations relatives à la prévention des accidents majeurs et de la gestion des catastrophes à travers :

- La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable qui abroge la loi n° 83-03 du 05 février 1983.
- Décret exécutif n°14-349 8 Décembre 2014 fixant les conditions de mise en conformité des installations et des équipements relevant des activités hydrocarbures.
- Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

2.2 Risques industriels

Les risques industriels sont, à l'heure actuelle, une préoccupation primordiale des acteurs de l'industrie car ils sont à l'origine d'accidents qui ont pour conséquences des pertes non seulement directes qui portent préjudice aux humains, au matériel et à l'environnement, mais aussi indirectes qui se mesurent aux pertes économiques et à l'image de marque de l'entreprise.

Le risque étant un concept qui a évolué dans le temps et qui reste aujourd'hui très nuancé selon le domaine auquel il se rattache. La notion de risque est née avec la naissance des jeux de hasard autrement dit des probabilités. Néanmoins, l'origine du mot reste obscure. Certains s'accordent à dire qu'il découle du mot arabe «rizq» et qu'au début du XI du fait des échanges commerciaux en méditerranée, il a été repris par les marchands italiens. La notion du risque a évolué et s'est rattachée aux environs du XVI siècle au rapport entre l'échec ou à la réussite dans une quelconque entreprise humaine [6].

Ramené au domaine de la sécurité, le risque est un concept clé autour duquel gravitent d'autres notions qui le complètent, notamment le danger, ce dernier est défini comme : une source, situation ou un acte ayant un potentiel de nuisance en termes de préjudice personnel ou atteinte à la santé, ou combinaison de ces événements [7].

Selon la Directive « Seveso II » le risque est défini comme : « probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées. En conséquence, un risque se caractérise selon deux composantes : la probabilité d'occurrence d'un événement donné, la gravité des effets ou conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire ».

Selon l'International Labour Organization (ILO), le terme « risque » désigne l'éventualité qu'un événement non désiré ayant des conséquences données survienne dans une période donnée ou dans des circonstances données, cette éventualité étant exprimée selon le cas en termes de fréquence (nombre d'événements donnés par unité de temps) ou en termes de probabilité (probabilité que se produise un événement donné à la suite d'un événement préalable).

Dans la norme ISO/CEI guide 73, le risque est défini comme la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité.

Nous retrouvons à travers ces diverses définitions attribuées au terme « risque », qu'elles soient énoncées par des organismes normalisateurs, des lois ou des directives, une convergence vers le fait que le risque est la probabilité d'occurrence d'un événement non souhaité (ENS) causant des effets sur des cibles selon leur vulnérabilité (homme, installation et environnement).

Selon la gravité et l'ampleur des accidents causés, deux grandes catégories de risques industriels ressortent [8] :

2.2.1 Risques professionnels

Nous entendons par risques professionnels tous les risques à l'origine d'accidents de travail ou causant des maladies professionnelles ou à caractère professionnel.

Ils sont généralement classés en catégories qui sont reliés directement aux tâches connues, au contact avec certains produits dangereux et aux ambiances de travail, elles sont résumées comme suit :

- Risques mécaniques.
- Risques physiques.
- Risques électriques.
- Risques chimiques.
- Risques biologiques.
- Risques de transport.

Bien que cette catégorie de risques fait l'objet d'intérêt de la part des différents acteurs du domaine de la santé et de la sécurité (médecins du travail, psychologues, ingénieurs, etc.), et fait appel à de nombreuses disciplines (ergonomie, toxicologie, etc.). Il reste que ces risques gravitent autour d'un facteur très difficile à cerner qui est le comportement humain, qui à lui seul peut faire l'objet d'études approfondies. C'est pour cela que nous nous intéresserons par la suite aux risques majeurs (RM).

2.2.2 Risques majeurs (RM)

Il s'agit de risques dont les conséquences sont de grande ampleur (nombre important de victimes, destruction de bâtiments, impact environnemental important voir irréversible) et ne s'arrêtent pas aux limites de l'installation [9].

Deux types de RM émergent, les risques industriels dits technologiques dont l'homme ou les installations qu'il a mis en place sont à l'origine, et les risques naturels dont l'origine sont des catastrophes naturelles telles que les séismes et les catastrophes climatiques. Nous nous intéresserons par la suite au premier type de risques majeurs, les risques industriels ou technologiques majeurs (RTM) car le risque de catastrophe naturelle est considéré comme inexistant d'après l'étude de dangers de l'installation.

Les RTM sont reliés à la probabilité d'occurrence d'un accident technologique majeur qui est connu par son caractère soudain et particulièrement rapide. Un accident est dit technologique majeur lorsqu'il répond aux critères suivants [8] :

- Nombre élevé de victimes humaines (morts ou blessés).
- Dégâts importants sur l'installation et aux alentours.
- Pollution permanente ou sur une longue durée, de l'environnement (faune, flore, bâtiments et constructions diverses).
- Conséquence d'un risque lié à l'installation (défaillance technique, explosion, incendie...).

La directive Seveso II de 1996 définit un accident majeur (industriel) comme un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.

2.3 Analyse des risques technologiques majeurs

Face à des risques pouvant causer d'éventuels accidents majeurs (événements peu probables mais une fois qu'ils surviennent causent des conséquences incommensurables) la nécessité de prévenir et de mettre en place des mesures pour éviter de tels événements devient primordiale. Dans ce cadre plusieurs approches ont vues le jour, dont l'analyse des risques majeurs qui représente la pièce maîtresse dans la démarche de maîtrise et de gestion de ces risques.

L'analyse du risque est définie dans le Guide ISO/CEI 51: 1999 comme l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque.

2.3.1 But et finalité

L'analyse des risques technologiques majeurs est un processus dont le but est de prévenir et résoudre les problèmes en matière de sécurité que présente une installation industrielle ou une partie de celle-ci. Autrement dit le but ultime est la maîtrise de ces risques et leurs gestions dans le temps et les changements qu'ils imposent.

L'analyse des risques (AR) n'étant pas une fin en soit, elle est conditionnée par l'éthique, qui se traduit par la responsabilité des acteurs de cette analyse envers toutes les parties prenantes de l'installation en question, en partant du premier responsable jusqu'aux collectivités locales proches de celles-ci.

2.3.2 Objectifs

D'une analyse des risques correctement menée découle la maîtrise des risques qui est un moyen de :

- ✓ Augmenter la confiance des parties prenantes en ce projet ;
- ✓ Être conforme aux exigences réglementaires ;
- ✓ Faire preuve d'une bonne communication publique ;
- ✓ Générer des documents indispensables à la gestion de la sécurité (plan d'intervention interne...)

2.3.3 Domaine d'application

L'AR faisant partie du processus de gestion des risques décrits dans la figure 2-1.

L'AR vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent donner lieu à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les infrastructures aussi bien à l'intérieur de l'installation qu'à ses alentours. Elle permet également de mettre en avant les barrières de sécurité manquantes et surtout les mesures à mettre en place en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en atténuer les conséquences (barrières de protection).

L'évolution de l'installation dans le temps, pose une contrainte quant à la pertinence de l'analyse des risques. Pour remédier à cela il faudrait établir des points discrets quant à au redéploiement de l'analyse, pour ressortir avec un suivi fidèle à l'évolution des installations, avec la prise en compte des risques de transition lors de la réalisation de nouveaux projets (construction, modification).

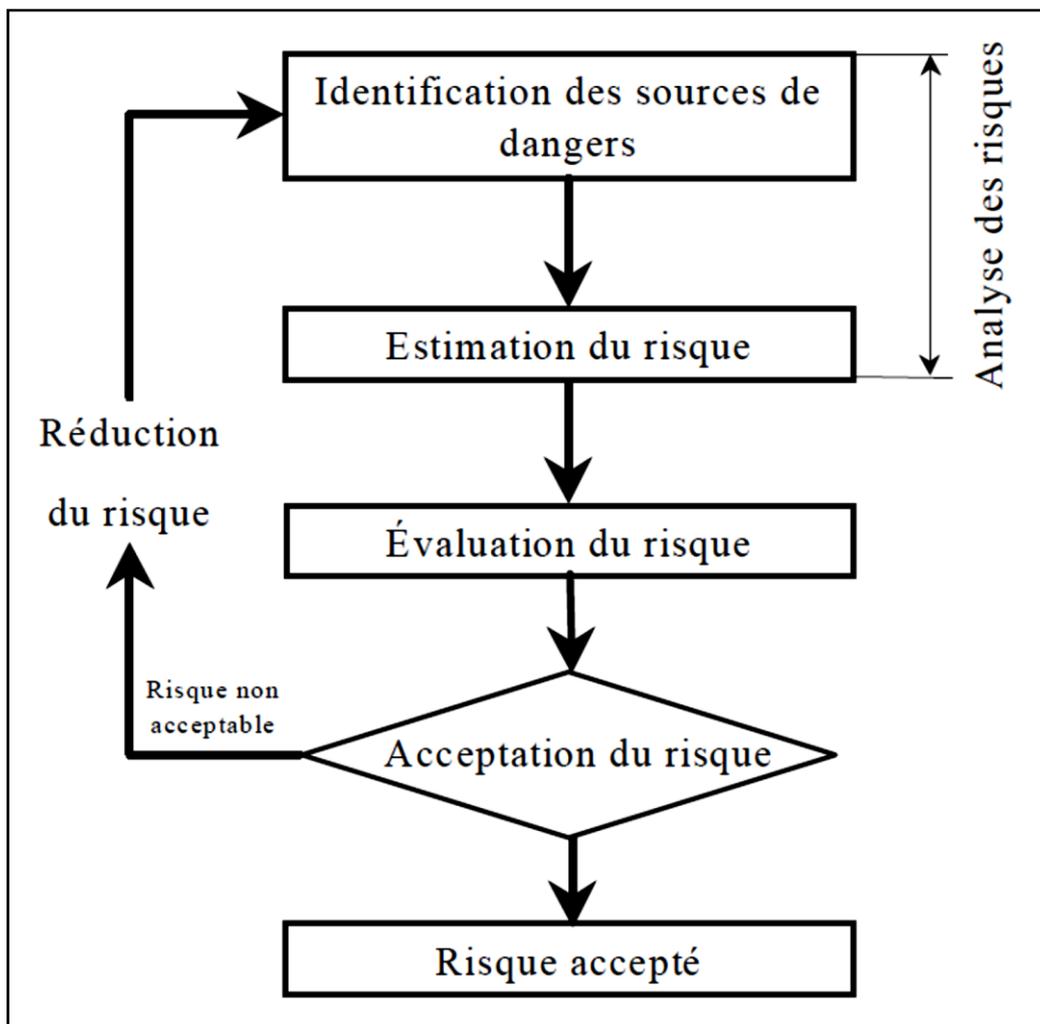


Figure 2-1 : Processus de la gestion des risques [9]

2.3.4 Démarche

La démarche adoptée dans l'analyse des risques majeurs s'axe sur un travail exploratoire qui se caractérise par la chasse aux anomalies, tout en faisant appel pour chaque étape, selon le niveau de détails que nous voulons atteindre, à des méthodes d'analyses adaptées.

Comme le souligne la figure 2-2, le point de départ de l'analyse est un découpage systémique sur lequel sera déployée l'analyse préliminaire des risques (APR) à partir de laquelle nous ressortirons avec un ou plusieurs équipements sensibles qui feront l'objet d'une analyse plus approfondie (dans notre cas l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)).

Une fois les deux méthodes déployées, les résultats obtenus seront des éléments pour le choix des solutions à proposer et à mettre en place dans le but de sécuriser et de protéger les installations ciblées contre les risques jugés critiques.

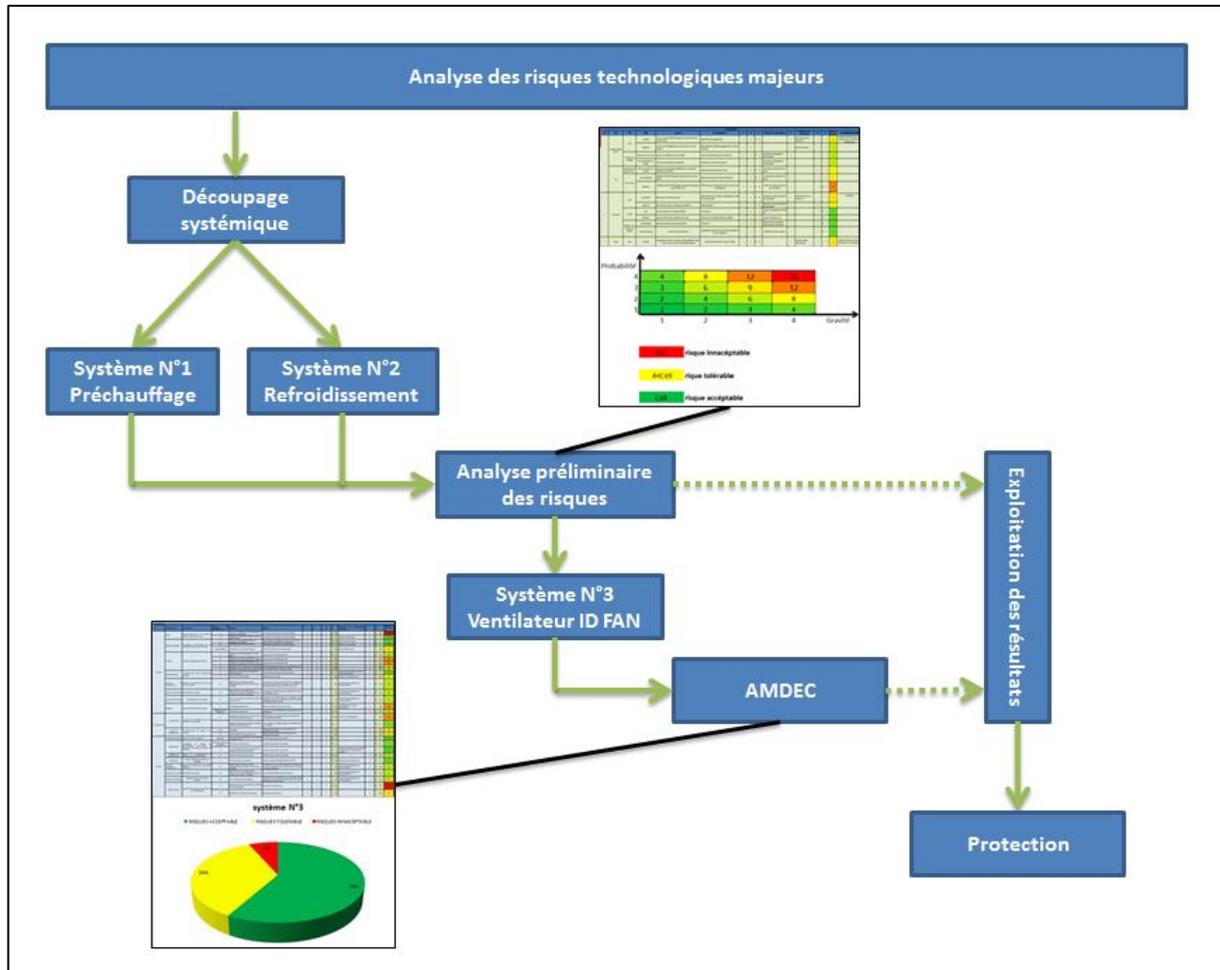


Figure 2-2 : Démarche d'analyse des risques technologiques majeurs

2.4 Présentation des méthodes d'analyse de risques

Les méthodes d'analyse présentées dans cette partie constituent des outils indispensables auxquels nous avons fait appel pour l'aboutissement du processus d'analyse, chaque méthode apporte à des niveaux différents de détails des informations précieuses qui serviront par la suite à l'adoption de mesures appropriées pour la réduction des risques prépondérants.

2.4.1 Analyse préliminaire des risques (APR)

L'APR est avant tout une démarche structurée et organisée de façon à permettre d'apprécier à priori les risques présents sur un site. Cette méthode est largement utilisée et connue pour sa capacité à s'adapter à tous types d'installations.

✓ Origine de la méthode

L'analyse préliminaire des risques a vu le jour aux débuts des années 1960. Elle a été utilisée au début dans les domaines aéronautiques et militaires et s'est développée en démarche généralisée qui a fait ses preuves dans différents domaines et industries [9].

✓ Domaine d'application

L'APR est applicable à toutes les installations et comme son nom le précise est utile pour l'appréciation préliminaire des risques, à condition qu'elle soit conduite dans des contextes temporels précis dans le cycle de vie de l'installation et qu'elle soit en concordance avec des objectifs d'étude bien définis. Autrement dit l'application de cette méthode s'avère pertinente lors de :

- La phase de conception (projet) d'une installation pour instaurer la première analyse en matière de sécurité et qui permet d'éviter les anomalies sécuritaires majeures dans le procédé et aussi déboucher sur les premières consignes d'exploitation.
- La phase d'exploitation d'une installation complexe et cela comme outil de départ d'une démarche d'analyse des risques, qui va permettre de sélectionner les risques qui peuvent ultérieurement faire l'objet d'études plus approfondies à l'aide d'autres méthodes plus en profondeur.
- Une analyse des risques effectuée sur une installation simple avec des objectifs pas très exigeants en matière de sécurité [9].

✓ Principe de la méthode

Dans le but d'énumérer fidèlement et de manière exhaustive les risques inhérents à notre installation, il est indispensable de passer en premier lieu par une analyse fonctionnelle de l'installation (système) dont découle une description fonctionnelle des équipements (sous-systèmes) qui composent l'installation. Cette description représente l'assise de l'enchaînement résumé dans la figure 2-3 [10].

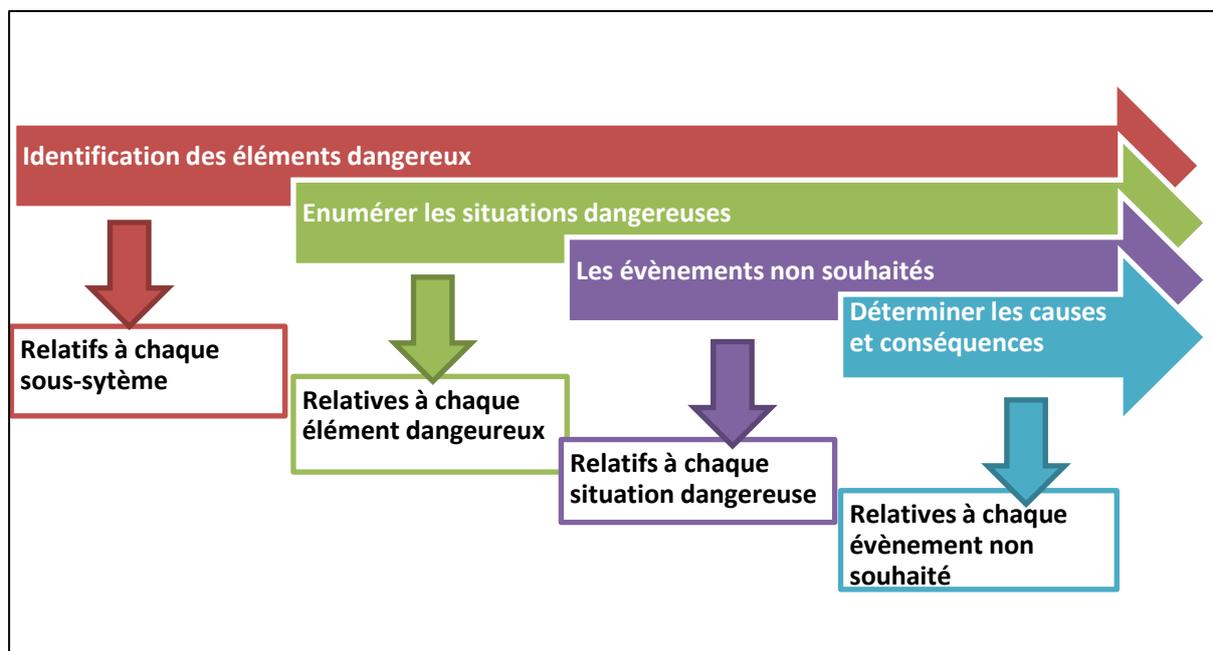


Figure 2-3 : Principes de la méthode APR

L'enchaînement représenté par la figure 2-3 fait appel, dans la détermination des conséquences, à un travail d'équipe qui par la suite consistera à :

- Coter les fréquences d'occurrence des événements non souhaités (ENS) en s'appuyant sur leurs causes.
- Déterminer les niveaux de gravité en s'appuyant sur les conséquences que peut engendrer l'évènement non souhaité.

L'équipe de travail sera amenée à associer les mesures de protection et de prévention présentes pour la réduction de chaque risque après sa première évaluation.

Dans la plupart des cas nous intégrons les deux paramètres (fréquence (F) et gravité (G)) dans une matrice à deux dimensions pour la hiérarchisation des risques en fonction des objectifs en matière de sécurité [10].

✓ **Déroulement de la méthode**

En respectant les principes de la méthode, le déroulement de celle-ci se fera selon les étapes suivantes :

▪ **Étape 1 : définition du système**

Délimitation et détermination de la mission du système à analyser et découpage fonctionnel des sous-systèmes le composant.

▪ **Étape 2 : identification des éléments dangereux (ED)**

Identification de manière exhaustive les éléments dangereux de chaque sous-système : substances, équipements et opérations dangereuses en utilisant le découpage du système retenu.

▪ **Étape 3 : énumération des situations dangereuses (SD)**

Énumérer les situations dangereuses que peut engendrer chaque élément dangereux préalablement identifié par l'occurrence d'un évènement libérateur de la source de danger.

▪ **Étape 4 : détermination des évènements non souhaités (ENS)**

Déterminer les évènements non souhaités résultant de la situation dangereuse et du déclenchement d'un évènement initiateur en s'appuyant sur le retour d'expérience.

▪ **Étape 5 : détermination des causes et conséquences**

Énumérer les causes qui sont à l'origine de chaque ENS et les conséquences qui peuvent en découler.

▪ **Étape 6 : établissement des grilles d'évaluation (F et G)**

Mise en place d'une grille d'évaluation de la fréquence (F) d'occurrence de l'évènement et de la gravité (G) des conséquences engendrées. Dans la plus part des cas, nous adaptons des grilles que nous retrouvons dans les bases de données qui sont nuancées par le retour d'expérience quant à l'utilisation de celles-ci.

▪ **Étape 7 : évaluation de la criticité du risque (C)**

Évaluation de la fréquence et de la gravité de chaque évènement non souhaité.

Par la suite, vient le calcul à partir de ces estimations de la criticité (C) du risque à l'aide de la formule suivante :

$$C = F \times G$$

▪ **Étape 8 : réévaluation de la criticité du risque (C')**

- Lister les mesures de prévention existantes pour réévaluer la fréquence (F').
- Lister les mesures de protection existantes pour réévaluer la gravité (G')

Nous ressortons par la suite avec un niveau de risque réévalué ($C' = F' \times G'$).

▪ **Étape 9 : hiérarchisation des risques**

Hiérarchisation des risques à l'aide d'une matrice à deux dimensions (F, G) en ressortant avec des catégories de risques :

- Risques acceptables ;
- Risques modérés ;
- Risques inacceptables.

▪ **Étape 10 : recommandations**

Proposer des mesures de réduction du niveau des risques dont le niveau est jugé inacceptable ou modéré selon les exigences et les objectifs définis.

La figure 2-4 schématise l'agencement des étapes de la démarche à adopter, elle sera résumée dans un tableau qui sera présenté par la suite.

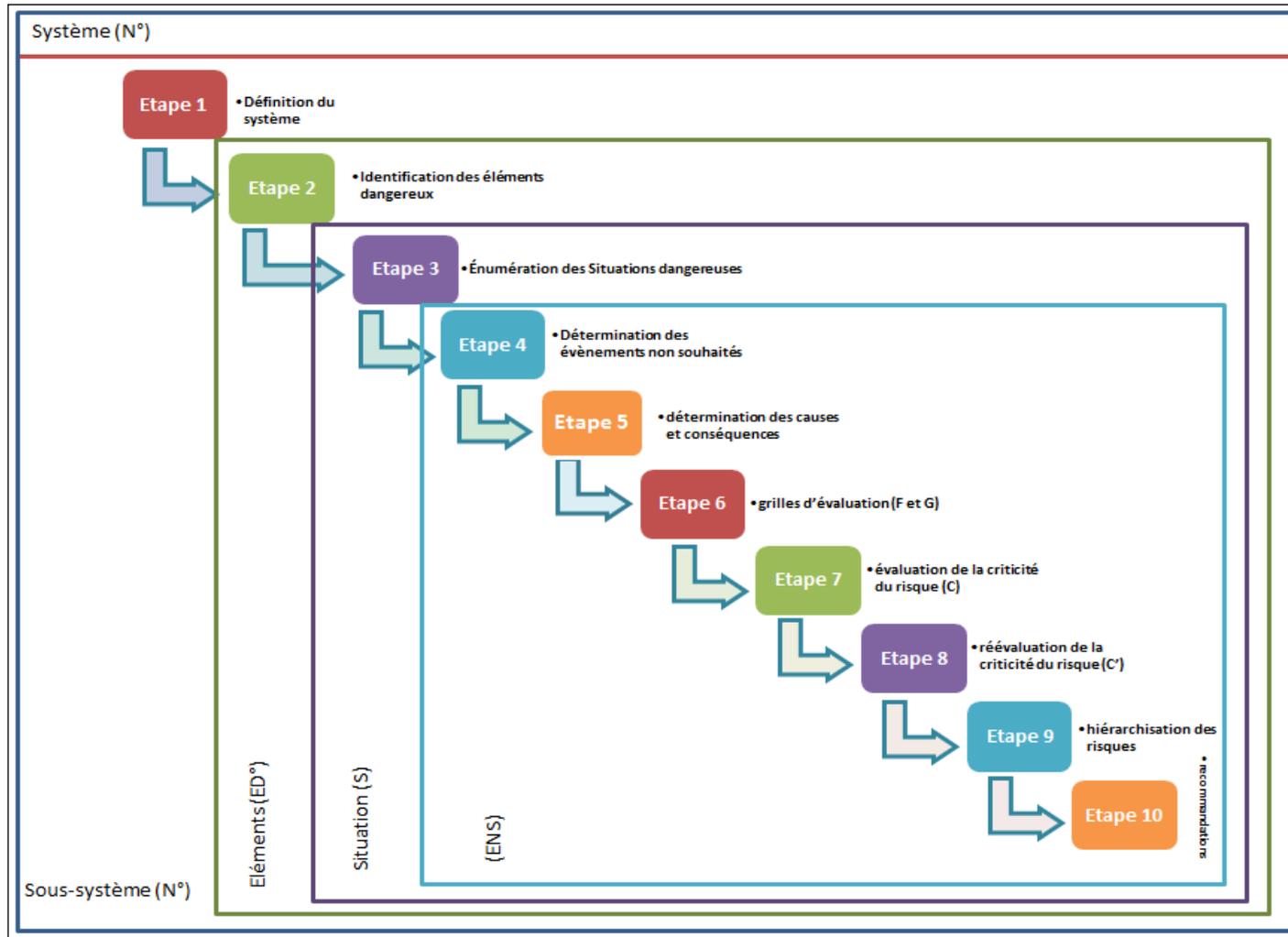


Figure 2-4 : Déroulement de la méthode APR

Le tableau type (2-1) proposé et qui constitue le produit de l'APR lors du déploiement de la méthode est le suivant :

Tableau 2-1 : Tableau type du déploiement de l'APR

Système N°															
SS	ED	S	ENS	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	hiérarchisation	RECOMMANDATION
1	a		1												

✓ Avantages et limites

La méthode APR permet de faire un inventaire des dangers présents dans une installation et d'évaluer les risques qui en découlent, elle permet aussi de mettre en évidence les priorités des mesures à mettre en place dans un premier temps pour diminuer le niveau des risques [9]. Néanmoins, l'APR ne met pas en exergue l'enchaînement des événements dans les systèmes complexes causant des incidents dits majeurs.

Elle permet également de souligner des points critiques qui feront par la suite l'objet d'analyses plus minutieuses en faisant appel à des méthodes comme l'AMDEC pour la maîtrise des risques.

2.4.2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Largement utilisée dans le domaine de la sûreté de fonctionnement, L'AMDEC constitue effectivement une méthode qui s'est faite une place dans les démarches de maîtrise des risques industriels, en mettant en avant, à travers le niveau de détail qu'elle offre, les effets et les conséquences découlant des modes de défaillances des composants. Cela permet, entre autre, une analyse minutieuse des risques engendrés par les modes de fonctionnement des systèmes.

✓ **Origine de la méthode**

Cette méthode a vu le jour à la fin des années 1950 et s'est développée au début des années 1960, notamment dans le domaine de l'aéronautique et plus précisément dans l'industrie aéronautique militaire américaine [9]. La méthode a été mise au point par la « *The National Aeronautics and Space Administration (NASA)* » et le secteur de l'armement sous le nom de « *Failure mode and effects analysis (FMEA)* » pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes pour lesquels nous devons respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. À la fin des années 1970, cette méthode fut largement adoptée par de grands constructeurs automobiles (Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler, etc.) [11].

✓ **Domaine d'application [12]**

L'AMDEC est applicable à tous les systèmes quel que soit leur complexité, pour autant que ces systèmes permettent l'identification des équipements qui les composent, et que nous disposons d'informations suffisantes pour déterminer les modes de défaillances des équipements en question. D'un point de vue pratique, cette méthode peut s'appliquer autant pour les équipements électriques, hydrauliques et mécaniques que pour des systèmes composés de plusieurs de ces types d'équipements [9]. De ce fait l'AMDEC s'applique aussi bien à une décomposition fonctionnelle qu'à une décomposition matérielle.

Une AMDEC peut être conduite de manière différente et touche différents domaines; tout dépend des objectifs de l'étude préalablement fixés. Pour un fabricant, à titre d'exemple cela, dépend de l'échelle à laquelle la méthode intervient dans le cycle de vie d'un produit, nous parlons d'« AMDEC produit » qui vise l'amélioration de la conception du produit pour satisfaire au mieux les exigences des clients, mais aussi d'« AMDEC processus » qui s'applique au processus de fabrication et vise l'amélioration des délais et la diminution des rebus.

L'AMDEC conduite pour une installation industrielle de grande envergure ou pour une partie de cette installation, intervient comme un outil qui s'avère pertinent :

- **Après la phase de conception :** pour confronter les connaissances de fonctionnement à la connaissance des fonctionnements non souhaités des composants. A ce niveau, cela permet de faire des réajustements en fonction des résultats de l'analyse pour rejoindre les objectifs de la conception d'une installation qui se doit d'être la plus fiable et sécuritaire possible.
- **Dans une démarche d'AR** au cours de l'exploitation, et cela sur une partie de l'installation dont la défaillance est susceptible d'être à l'origine d'un risque prépondérant, qui a été mis en évidence par la hiérarchisation des risques d'une méthode plus généralisée comme l'APR [12].

✓ **Principe de la méthode**

L'AMDEC repose sur des concepts cadrés par un vocabulaire précis résumé dans ce qui suit [9] :

- **Défaillance :** cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une fonction requise.
- **Mode de défaillance :** effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système.
- **Cause de défaillance :** évènements qui conduisent aux modes de défaillances.
- **Effet d'un mode de défaillance :** conséquences associées à la perte de l'aptitude d'un élément à remplir une fonction requise.

L'AMDE est une méthode inductive qui part de l'identification des défaillances élémentaires des composants pour en déduire et évaluer la gravité des situations qui découlent de ces défaillances (figure 2-5) [12].

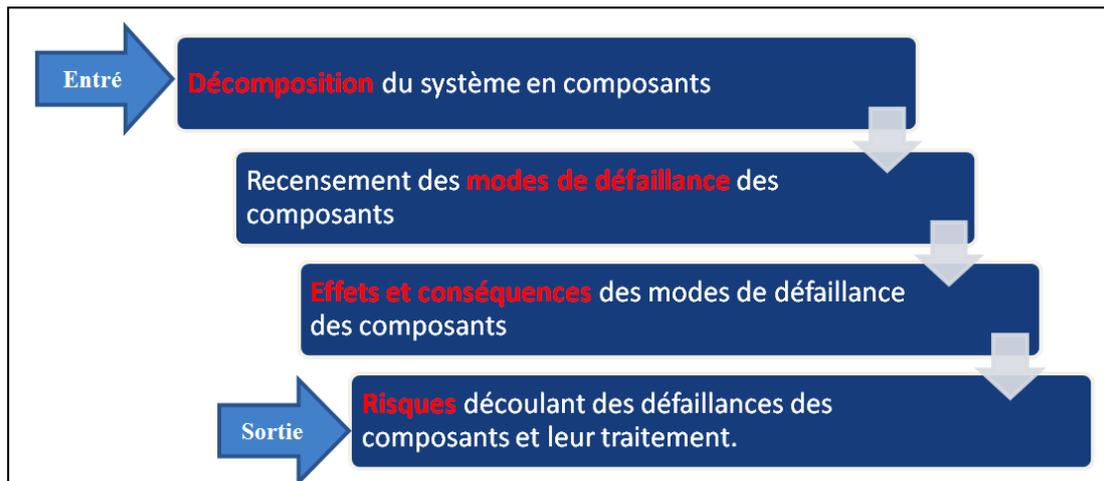


Figure 2-5 : Principes de l'AMDEC

✓ Déroulement de la méthode

Pour rendre l'AMDEC exploitable et pertinente avant le démarrage de l'analyse, il est nécessaire de bien connaître le système à étudier et de procéder à un découpage de celui-ci en composants en déterminant les fonctions de chacun d'entre eux, pour pouvoir établir les modes de défaillances attribuées à ceux-ci. Ensuite, à partir des causes et conséquences proposées, nous procédons à l'évaluation de la criticité de chaque défaillance par rapport à l'effet engendré sur le composant et sur le système.

Les étapes de la méthode sont résumées comme suit :

• Étape 1 : Décomposition et analyse fonctionnelle

La décomposition du système est une étape primordiale pour la crédibilité de l'analyse. En effet, c'est à ce niveau que nous déterminons le degré de finesse auquel va s'arrêter l'analyse des modes de défaillances. Celui-ci va se mesurer aux composants retenus du système.

Il s'agit de déterminer les composants formant le système qui fait l'objet de l'analyse, en décrivant la ou les fonctions de chacun d'eux de façon à ce que la somme des fonctions des composants assure la mission du système.

Il est à noter que l'analyse fonctionnelle ne met pas en évidence de « fonction de sécurité». La sécurité sera traitée, si elle est mise en cause, au cours de l'application de la méthode. L'APR déployée au préalable a permis d'identifier les « fonctions de sécurité » qui vont servir dans le cheminement de l'AMDEC.

- **Modes de défaillances**

L'identification des modes de défaillance, étape centrale, consiste à reprendre la décomposition et pour chaque composant, noter les modes de défaillances qui peuvent affecter son fonctionnement à différents états (démarrage, en fonctionnement et à la mise à l'arrêt).

La détermination des modes de défaillances se fait à l'aide des consignes du constructeur et du retour d'expérience des exploitants (maintenance, procès, production, mécanique). Mais l'on peut toutefois se référer à la norme CEI 60812 « Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) » qui résume les modes de défaillances généraux et particuliers dans les tableaux 2-2 et 2-3 :

Tableau 2-2 : Modes de défaillances généraux

Numérotation	Description
1'	Fonctionnement prématuré
2'	Ne fonctionne pas au moment prévu
3'	Ne s'arrête pas au moment prévu
4'	Défaillance en fonctionnement

Tableau 2-3 : Modes de défaillances génériques

N°	Mode de défaillance	N°	Mode de défaillance
1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise ne marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	19	Ne s'arrête pas
3	Vibration	20	Ne démarre pas
4	Ne reste pas en position	21	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	23	Fonctionnement pré délais prévu (retard)
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erronée (augmentation)
8	Défaillance en position fermé	25	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erronée (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erronée (diminution)
11	Dépassé la limite supérieure tolérée	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert
15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autres
17	Écoulement réduit		

- **Causes de la défaillance**

Il s'agit dans cette étape d'associer à chaque défaillance au moins une ou plusieurs causes à l'origine de celle-ci.

- **Les effets de la défaillance**

Il s'agit de déterminer les effets qu'aura la défaillance sur le composant (local) et sur le système (global).

- **Évaluation de la criticité**

Cette étape préconise l'estimation de la probabilité du mode de défaillance (P), de la gravité associée à ses conséquences (G) et la détection de la défaillance (D).

La connaissance de ces grandeurs permet le calcul de la criticité (C) du risque à l'aide de la formule suivante :

$$C = G \times P \times D$$

Nous procédons par la suite à la réévaluation de la criticité, en réévaluant la probabilité d'occurrence, après considération des barrières de prévention de la défaillance en place.

Le tableau 2-4 résume le déroulement de l'analyse :

Tableau 2-4 : Tableau type du déploiement de l'AMDEC

Système N°													
SS	Composant	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Effets	F	G	D	C	Mesures de prévention en place	F'	C'	hiérarchisation
1	1												

✓ **Avantages et limites**

L'AMDEC s'avère très efficace lorsqu'elle est mise en œuvre pour l'analyse de défaillances simples d'éléments conduisant à la défaillance globale du système. De par son caractère systématique et sa maille d'étude généralement fine, elle constitue un outil précieux pour l'identification de défaillances potentielles et les moyens d'en limiter les effets ou d'en prévenir l'occurrence [9].

CHAPITRE 3 APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE

Le déploiement des méthodes d'analyse constitue le cœur de la démarche d'analyse des risques technologiques majeurs. Ces méthodes considérées comme des outils inter complémentaires, font appel à des démarches à adopter pour la bonne conduite et l'obtention de résultats pertinents. L'utilisation de ces méthodes est conditionnée par une présence accrue sur le terrain et le sens de l'observation des détails.

Dans ce chapitre il sera exposé les critères d'évaluation établis et utilisés dans la conduite des deux méthodes (APR et AMDEC), ainsi que les résultats obtenus et les recommandations qui en découlent.

3.1 Analyse préliminaire des risques (APR)

Les parties de l'installation qui font l'objet de cette méthode ont été identifiées au préalable, au niveau 1 du processus. Lors du déploiement, nous faisons appel à des critères d'évaluation établis en concertation avec les acteurs du projet. En fonction des résultats obtenus lors de l'évaluation de la criticité des risques, des recommandations seront émises pour la réduction de celle-ci.

3.1.1 Identification des systèmes

Le déploiement de la méthode fait appel lors de son amorçage à une analyse fonctionnelle, cette dernière nous permet de ressortir avec non seulement un découpage précis en sous-systèmes composant les parties ciblées de l'installation, mais aussi d'identifier tous les éléments et les substances qui interagissent à l'intérieur et entre les sous-systèmes. Cela nous permet d'acquérir forcément une connaissance approfondie de l'installation et de n'en négliger aucune partie.

Les deux systèmes identifiés dans un premier temps sont le « **système préchauffage** » et le « **système refroidissement** ».

✓ **Système N°1 : le préchauffage**

- **Mission principale :** Préparation de la matière (farine) avant l'entrée au four au niveau de la tour de préchauffage.
- **Missions intermédiaires :** En partant du haut vers le point bas de la tour, la farine subit plusieurs opérations durant son préchauffage dans les systèmes de cyclones et de conduites de la tour, comme décrit dans la figure 3-1.

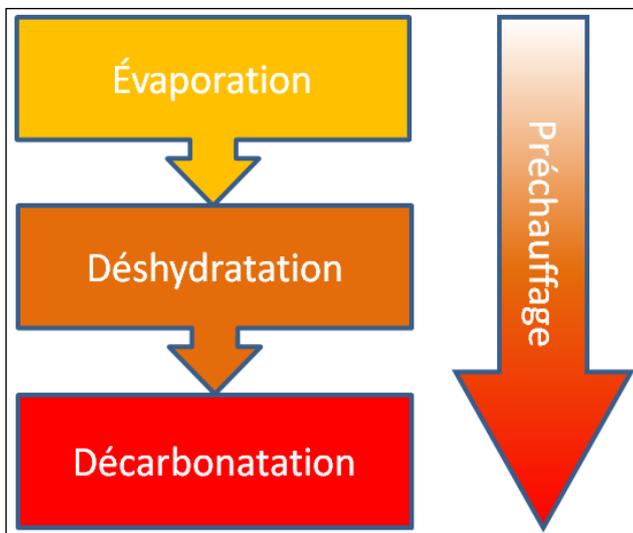


Figure 3-1 : Processus de préchauffage de la matière

- **Entrées :**
 - La matière (farine) : provenant du silo à l'aide d'un élévateur à air alimenté par des compresseurs, avant alimentation des cyclones est transporté dans des aéroglisteurs avec un back filtre en support pour la recirculation des poussières.
 - L'air tertiaire : provenant de la sortie four, est introduit au niveau du calcinateur, le but étant de favoriser la combustion du gaz au niveau des brûleurs

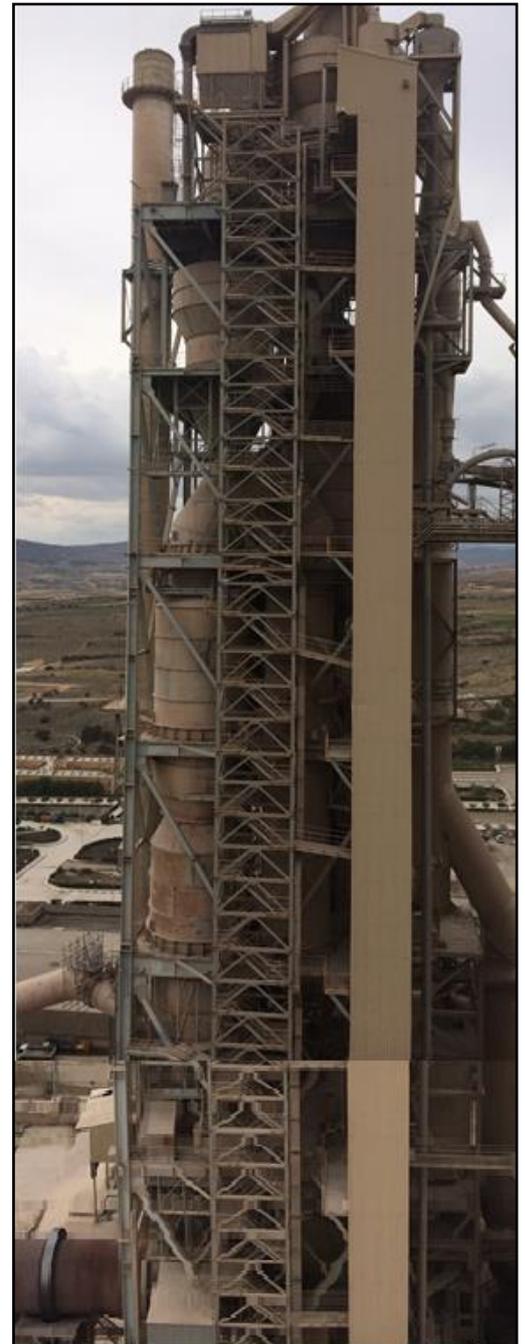


Figure 3-2 : Tour de préchauffage

- Gaz four : à l'aide du ventilateur de tirage qui assure la dépression, les gaz chauds du four remontent vers la tour de préchauffage passant par le rizer du calcinateur
 - Alimentation en gaz naturel des brûleurs du calcinateur.
- **Sorties**
- Matière chaude environ 1000°C: vers l'entrée four prête pour la cuisson.
 - Gaz : du haut de la tour, ils restent légèrement chargés en poussière et passent ensuite par le broyeur cru (VRM), la tour de conditionnement et enfin l'électrofiltre et le tirage des gaz est assuré par un ventilateur de tirage le « ID FAN ».
- **Plan de la tour**

La figure 3-3 nous renseigne sur la disposition des cyclones de la tour de préchauffage.

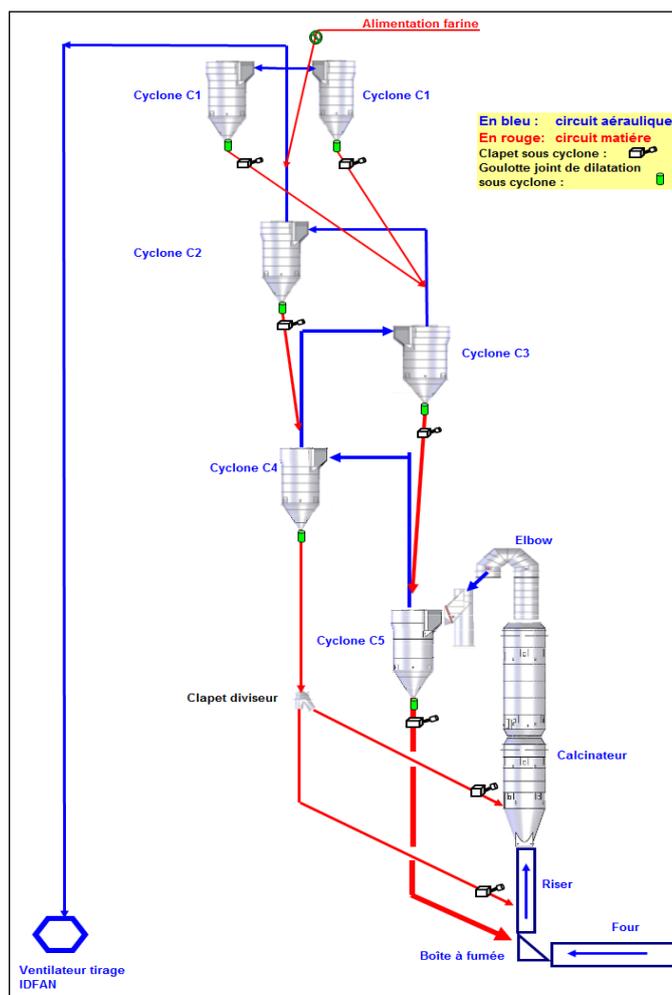


Figure 3-3 : Plan de la tour [LAFARGE]

- **Équipements**

- **Cyclone**

C'est l'équipement principal de la tour de préchauffage. Celle-ci comporte 5 cyclones qui sont disposés en étages avec une certaine architecture précisée dans le schéma de la figure 3-3.

La fonction du cyclone est la séparation des gaz chauds de la poussière tout en permettant l'échange thermique entre les deux flux.

Le cyclone est composé, en partant du bas d'une goulotte de sortie, d'un cône, d'un cylindre qui contient des jupes dont la mission est de piéger la matière et puis d'un carneau de sortie des gaz. L'alimentation du cyclone se fait grâce au carneau d'entrée où se passe l'essentiel de l'échange thermique entre le gaz ascendant et la matière descendante.



Figure 3-4 : Carneau d'entrée du cyclone [EXCLUSIF]

- **Clapets**

L'équipement est conçu dans le but de réduire le passage des gaz, et ne laisser que la matière qui vient de la goulotte de sortie du cyclone du niveau supérieur descendre vers le niveau le plus bas. Il est accompagné d'un éclateur en aval pour disperser la matière avant de rentrer en contact avec les gaz chauds pour un échange thermique optimal dans le carneau d'entrée au cyclone (figure 3-5).

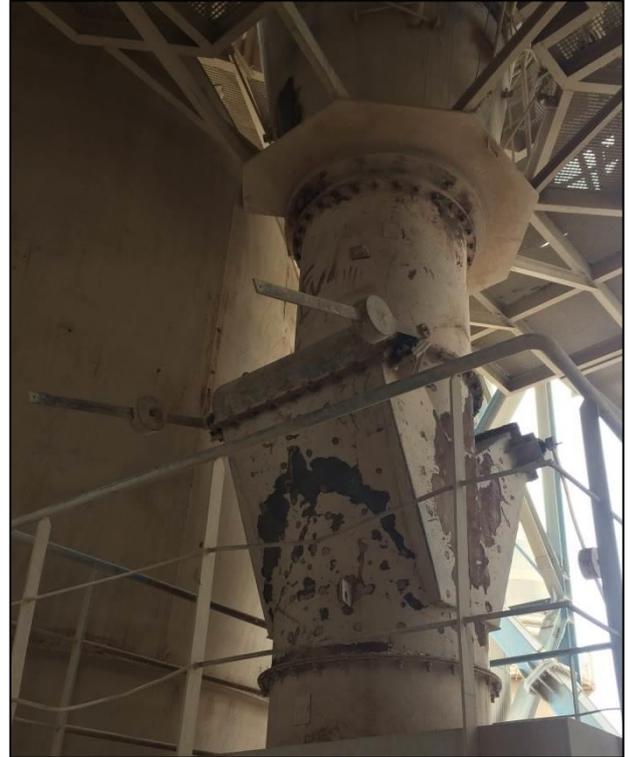


Figure 3-5 : Clapet papillon [EXCLUSIF]

- **Le calcinateur**

Il est alimenté en air tertiaire qui arrive via une conduite de la sortie du four à une température qui avoisine les 600°C, pour l'optimisation de la combustion du gaz naturel par les brûleurs. Il se trouve à la dernière étape où se déroule la décarbonatation de la chaux à environ 900°C et constitue un atout majeur dans la préparation de la matière avant l'entrée au four.

- **Matériel de mesure**

La tour est équipée de plusieurs appareils de mesures qui sont entièrement automatisés et sont reliés à la salle de contrôle. Ils donnent des indications pour disposer des paramètres d'exploitation mais aussi, ils jouent un rôle important dans la détection d'anomalies.

Des manomètres pour la mesure de pression et des thermocouples sont disposés à l'entrée et à la sortie de chaque cyclone (figure 3-6).



Figure 3-6 : Matériel de mesure (à gauche un thermocouple et à droite manomètre) [EXCLUSIF]

Deux analyseurs de gaz sont installés au niveau de la tour. Le premier au niveau du calcinateur, nous renseigne en temps réel sur la teneur des gaz en O_2 , CO , CH_4 , NO , SO_2 ; et le deuxième se trouve en haut de la tour à la sortie des gaz et mesure le taux de O_2 , CO , CH_4 .

- **Air-chocs**

C'est un dispositif qui à l'aide de libération de jet de pression d'air empêche la matière de s'accrocher sur les parois (figure 3-7).



Figure 3-7 : Disposition des air-chocs au niveau du calcinateur [EXCLUSIF]

○ **Découpage de la tour de préchauffage**

Le tableau 3-1 résume le découpage de la tour de préchauffage en sous-systèmes.

Tableau 3-1 : Découpage du système N°1

Systèmes				Sous-systèmes				
S-N°	Nom	Entrés	Sorties	Ss-N°	Nom	Entrées	Sorties	Équipements
I	Tour de préchauffage	<ul style="list-style-type: none"> • Matière provenant du silo de farine • Gaz chaud du four • Air tertiaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Gaz vers électro filtre • Matière vers le four 	1	Cyclone (A et B)	• Gaz/matière de S-2	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclone A • Cyclone B • Analyser de gaz • Matériel de mesure
				2	Cyclone 102	• Gaz/matière de S-3	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclone 2 • Matériel de mesure • Clapet
				3	Cyclone 103	• Gaz/matière de S-4	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclone 3 • Matériel de mesure • Rayon gamma conne • Clapet
				4	Cyclone 104	• Gaz/matière de S-5	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclone 4 • Air chocs • Matériel de mesure • Rayon gamma conne • Clapet
				5	Cyclone 105	• Gaz/matière du calcinateur • Matière de S-3	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Cyclone 5 • Air chocs • Matériel de mesure • clapet • Rayon gamma conne
				6	Calcinateur, riser	• Gaz du four • Matière S-4 • Gaz naturel	• Gaz • Matière	<ul style="list-style-type: none"> • Brûleurs • Air choc • Analyser de gaz • Air chocs • Matériel de mesure

○ Description du procédé de préchauffage

La farine arrive du silo de stockage qui se trouve en amont de la tour et est élevée en haut de la tour à l'aide d'élévateur à air, alimenté par des compresseurs. L'alimentation de la tour se fait au niveau des premiers cyclones 101 (A ET B) qui sont montés en parallèle où la farine est mêlée aux gaz chauds qui remontent du cyclone 102. Une grande partie de l'échange thermique se passe au niveau du carneau d'entrée du cyclone (figure3-4).Le mélange gaz-matière arrive dans le cylindre du cyclone; le gaz, par effet de cyclonage, entraîne la matière au contact des jupes et des parois du cylindre. La matière chute par effet de gravité vers le cône puis la goulotte de sortie des deux cyclones, ensuite elle s'achemine vers la goulotte d'entrée du clapet qui sert le cyclone 102 où elle se mêle à nouveau aux gaz qui remontent cette fois du cyclone 103 (figure 3-8).

La même opération se reproduit pour les cyclones 103, 104, et 105 avec une augmentation graduelle de la température à l'approche du four. L'humidité contenue dans la matière au contact avec les premiers gaz chauds est chassée. En progressant dans la tour, la matière se déshydrate entièrement sous l'effet de la température.

Le calcinateur fait figure d'étape ultime avant l'entrée au four, où se déroule la décarbonatation de la matière (Formation de la chaux libre CaO) et l'élévation de la température qui atteint les 1000°C, grâce à des brûleurs alimentés en gaz naturel et en air tertiaire provenant de la sortie du four; le calcinateur est alimenté en matière par le cyclone 104 par deux entrées et le calcinateur lui-même alimente en gaz chaud le cyclone 105 et la boîte à fumée (entrée) du four en matière prête à la cuisson à travers le rizer. Le cyclone 105 lui alimente directement le four en matière.

Le mouvement des gaz dans la tour est assuré par un ventilateur de tirage « ID fan » situé avant la tour de préchauffage.

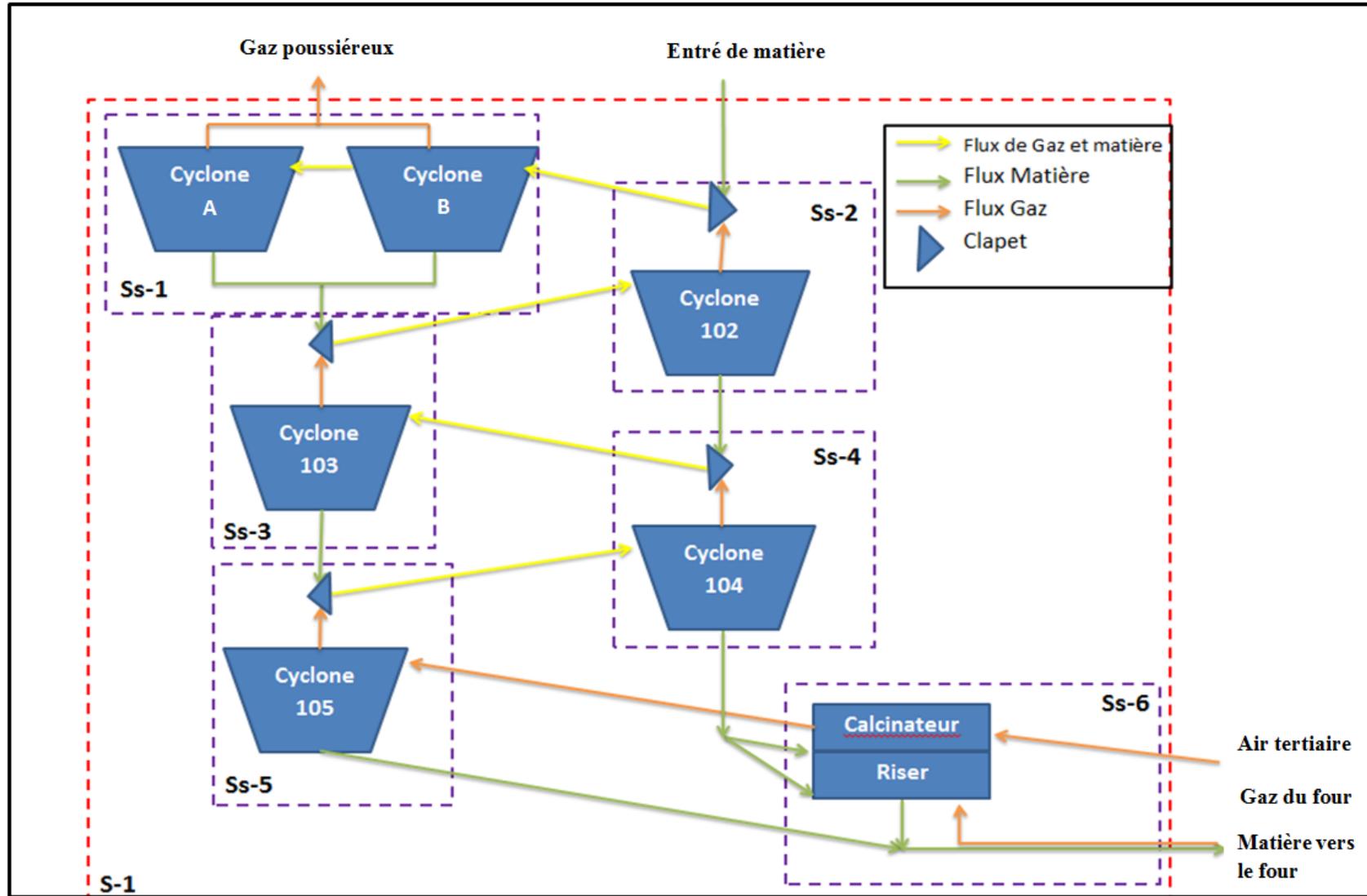


Figure 3-8 : Schéma des sous-systèmes composant la tour de préchauffage

✓ **Systeme N°2 : Le refroidissement**

- **Mission principale :** refroidir le clinker après la cuisson au niveau du four
- **Missions intermédiaires :** le composant principal qui assure la mission du système est le refroidisseur qui est divisé en deux parties :
 - Partie chaude, juste à la sortie du four où la matière subit une trempe.
 - Une partie froide qui assure le refroidissement avec de l'air et qui est couplée à un concasseur à marteaux qui assure une certaine granulométrie du clinker.

L'air utilisé pour le refroidissement est récupéré pour aider la combustion au niveau du brûleur du four (air secondaire) et des brûleurs du calcinateur (air tertiaire).

- **Entrées**
 - Matière cuite du four (clinker) à environ 1400 C°, qui se déverse dans le puit d'entrée.
 - Station d'alimentation en gaz naturel pour le brûleur du four.
 - Air à température ambiante, pour le refroidissement et l'alimentation du brûleur.
- **Sorties**
 - Air secondaire qui alimente le four.
 - Air tertiaire qui alimente le calcinateur.
 - Clinker vers le silo de stockage qui sera transporté par une bande transporteuse vers le silo de stockage du clinker.
- **Plan du refroidissement**

Le schéma contenu dans la figure 3-9 résume les flux qui circulent entre les sous-systèmes du refroidissement.

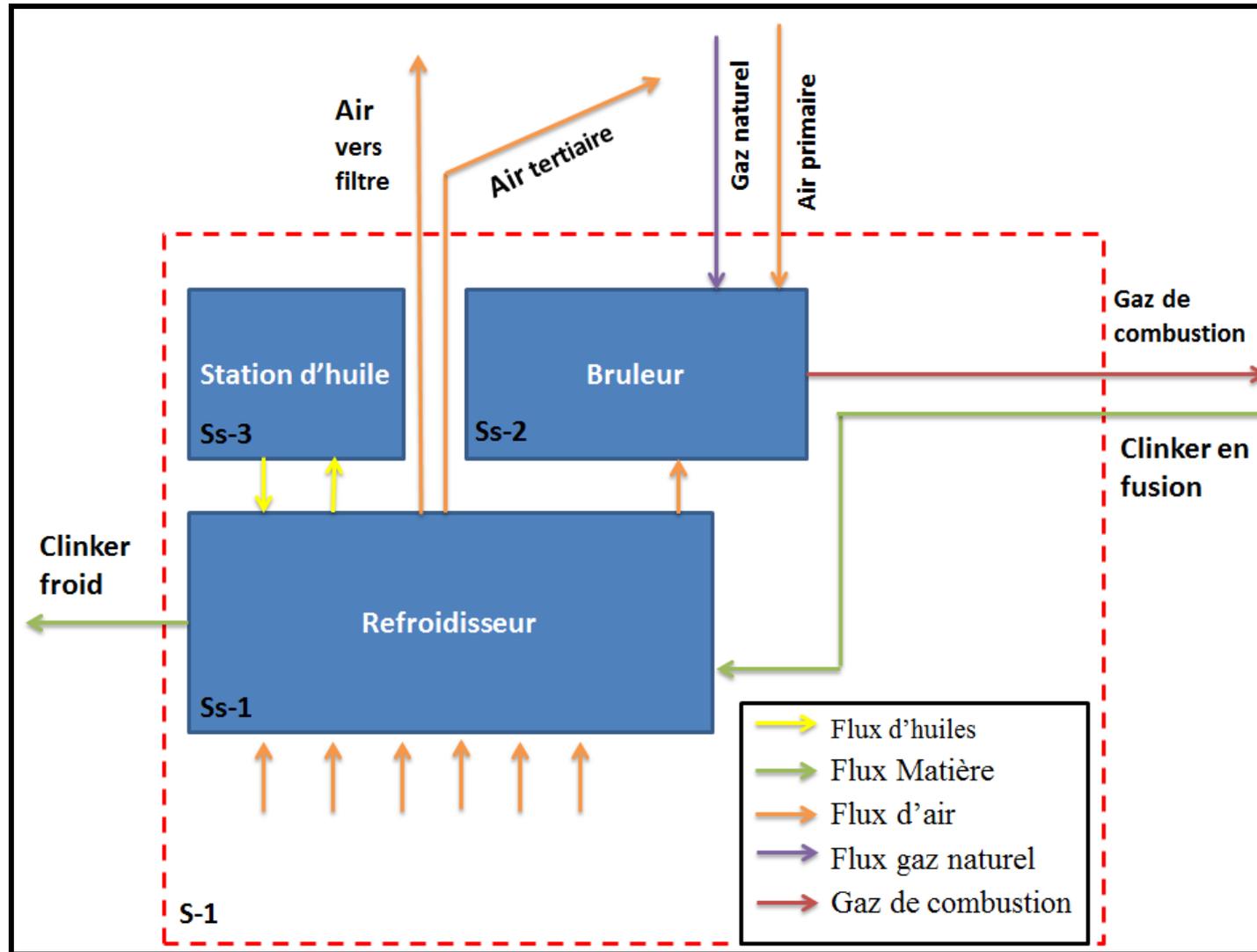


Figure 3-9 : Schéma des sous-systèmes composant le système de refroidissement

- **Équipements**

- **Refroidisseur**

Le refroidisseur est un échangeur thermique. Le type de refroidisseur présent à Msila est un refroidisseur à grilles mobiles, illustré sur la figure 3-10. Il est alimenté à très haut débit en air par 8 ventilateurs. Nous pouvons diviser le refroidisseur en deux parties :

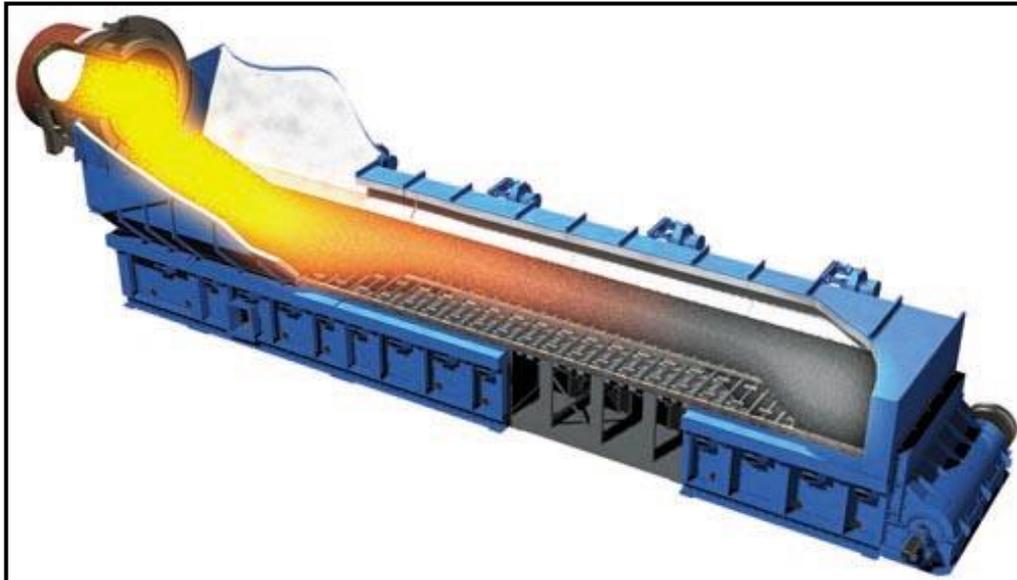


Figure 3-10 : Refroidisseur à grilles mobiles [LAFARGE]

- **Partie chaude (capot de chauffe) :** Trempe et récupération de chaleur (air de combustion) les 4 premiers ventilateurs.
- **Partie froide :** Refroidissement et concassage du clinker à l'aide d'un concasseur à marteaux.

- **Alimentation gaz et tuyère**

Pour alimenter le brûleur principal du four en gaz naturel, un portique gaz est installé au niveau du troisième et dernier étage de la zone de refroidissement. Ce portique alimente la tuyère du four à travers un flexible. Le débit moyen d'alimentation en gaz s'élève à 1200 m³/h avec une pression nominale de 7 bars.

- **Station de pompage d'huile**

La station comporte 5 pompes d'huile (figure 3-11) qui servent au fonctionnement du système hydraulique des grilles mobiles du refroidisseur.



Figure 3-11 : Pompes à huile [EXCLUSIF]

- **Découpage du système « refroidissement »**

Le tableau 3-2 résume le découpage du système de refroidissement en sous-systèmes.

Tableau 3-2 : Découpage du système N°2

Systèmes				Sous-systèmes				
S-N°	Nom	Entrés	Sorties	Ss-N°	Nom	Entrées	Sorties	Équipements
II	Refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> • Matière cuite du four (clinker) à environ 1400 C°, qui se verse dans le puis d'entrée. • Station d'Alimentation en gaz naturel pour le brûleur du four. • Air à température ambiante, pour le refroidissement et l'alimentation du brûleur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Air secondaire qui alimente le four. • Air tertiaire qui alimente le calcinateur. • Clinker vers le silo de stockage qui sera transporté par une bande transporteuse vers le silo stockage clinker. 	1	Refroidisseur	<ul style="list-style-type: none"> • Matière en fusion • Gaz du brûleur • Air ambiant des ventilateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • clinker vers les bandes transporteuse vers le silo de stockage • Air secondaire vers four • Air chaud vers l'électrofiltre 	<ul style="list-style-type: none"> • 7 ventilateurs d'extraction d'air • Concasseur à marteaux • Tables glissantes • Air chocs • Équipements de mesure • Atumat
				2	Brûleur	<ul style="list-style-type: none"> • Gaz naturel • Air primaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Flamme 	<ul style="list-style-type: none"> • Brûleur • Équipement de régulation • Station d'arrivée de gaz • Équipement de mesure
				3	Station de pompage d'huile	<ul style="list-style-type: none"> • Système fermé assure la lubrification des ventilateurs à air, les grilles et les roulements du concasseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 pompes à huile 	

○ Description du procédé de refroidissement

Alimenté en clinker chaud environ 1450 °C, il subit une trempe à l'aide d'air ambiant provenant des ventilateurs. L'air est distribué à l'aide de valves régulatrices de différence de pression en fonction de la résistance du lit (granulométrie du clinker)

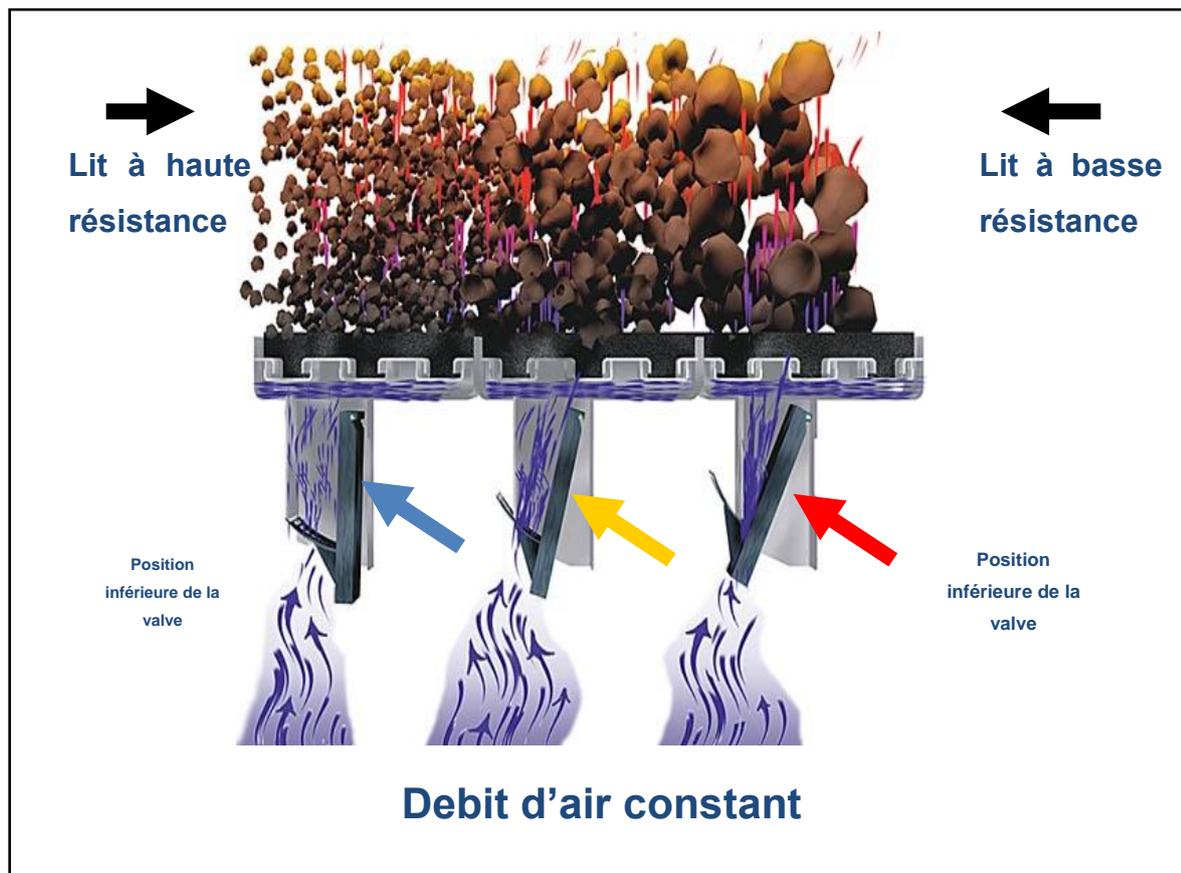


Figure 3-12 : Distribution de l'air de refroidissement dans le refroidisseur [LAFARGE]

Le déplacement du clinker se fait par le mouvement des cross barres; au fur et à mesure que la matière avance dans le refroidisseur, sa température diminue sous l'effet de l'air des ventilateurs jusqu'à atteindre le concasseur à marteaux qui broie les blocks de clinker. Ces derniers se déversent à une température d'environ 100 C° dans la trémie d'alimentation des silos de stockage du clinker.

En ce qui concerne la circulation des gaz, une partie de l'air de refroidissement qui se réchauffe au contact du clinker est utilisée dans la combustion du brûleur principal du four (air secondaire), une autre partie (air tertiaire) est acheminée vers les brûleurs du calcinateur au niveau de la tour de préchauffage dans une conduite qui passe au-dessus du four. L'air non utilisé est envoyé vers l'électrofiltre pour l'élimination des poussières, puis vers la cheminée.

3.1.2 Critères d'évaluation

Pour l'évaluation de la criticité des risques nous faisons appel à des grilles d'appréciation des probabilités d'occurrence (tableau 3-3) et de la criticité (tableau 3-4) qui ont été adaptées des grilles usuelles et validées par l'équipe de l'usine et l'encadrement pédagogique.

Tableau 3-3 : Échelle de probabilité

Probabilité	
Échelle	Traduction quantitative
4	Évènement très probable S'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites
3	Évènement probable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.
2	Évènement peu probable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites.
1	Évènement improbable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.

Tableau 3-4 : Échelle de criticité

Gravité			
Échelle	Traduction quantitative		
	Cible humaine	Cible matérielle	Cible environnementale
4	Effets critiques (létaux ou irréversibles) sur au moins une personne à l'extérieur du site ou au niveau de zones occupées du site	Atteinte d'un bien, équipement dangereux ou de sécurité à l'extérieur du site	Atteintes critiques à des zones vulnérables avec répercussions à l'échelle locale
3	Effets critiques (létaux ou irréversibles) limités à un poste de travail sur le site	Atteinte d'un équipement dangereux ou d'un équipement de sécurité critique sur le site sans aggravation générale des conséquences	Atteintes sérieuses à l'environnement nécessitant des travaux lourds de dépollution
2	Aucun effet critique au niveau des zones occupées ou postes de travail du site.	Atteintes à des équipements dangereux du site sans synergie d'accidents ou à des équipements de sécurité non critiques	Atteintes limitées au site et nécessitant des travaux de dépollution minimales
1	Pas d'effets significatifs sur le personnel du site	Pas d'effets significatifs sur les équipements du site	Pas d'atteintes significatives à l'environnement

De la combinaison des deux facteurs, précédemment exposés, ressort une matrice de hiérarchisation des risques (figure 3-13).

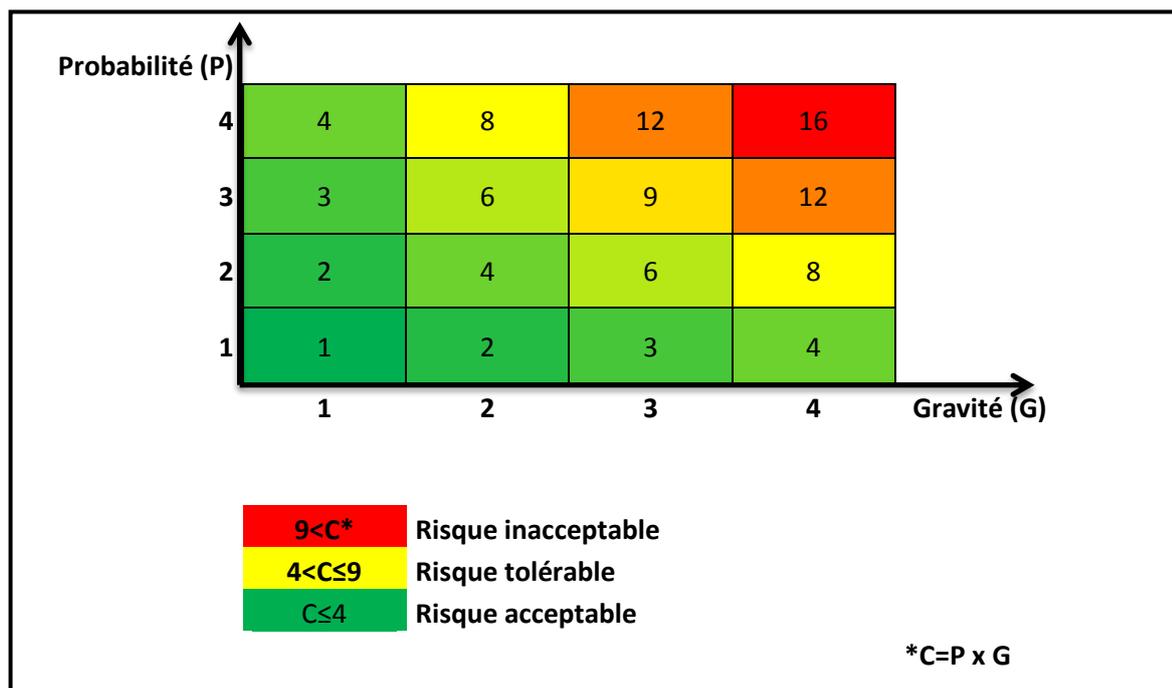


Figure 3-13: Matrice de hiérarchisation des risques

3.1.3 Déploiement et résultats

Bien que les parties ciblées de l'installation soient de grande envergure, l'APR nous a permis d'obtenir des éléments pertinents grâce à un découpage minutieux des systèmes étudiés, au respect des principes de la méthode et au cheminement des étapes prédéfinies.

Le déploiement de la méthode s'est fait à travers un tableau qui est joint en annexe A

Les éléments qui ressortent de l'analyse sont principalement les événements non souhaités (ENS) recensés suite à la libération d'éléments dangereux bien identifiés (matière chaude et gaz naturel), ces ENS une fois le risque de leur avènement côté, ont conduit aux résultats exprimés pour les deux systèmes analysés dans la figure (3-14) et la figure (3-15).

✓ Résultats (système N°1)

Le tableau 3-5 exprime le nombre d'ENS relevés distribués selon la catégorie de risques à laquelle ils appartiennent.

Tableau 3-5 : Hiérarchisation des risques du système N°1

Catégorie du risque	Nombre d'ENS	Pourcentage
Risques acceptables	29	50%
Risques tolérables	28	48%
Risques inacceptables	1	2%
Total	58	100%

Les résultats sont repris dans la figure 3-14.

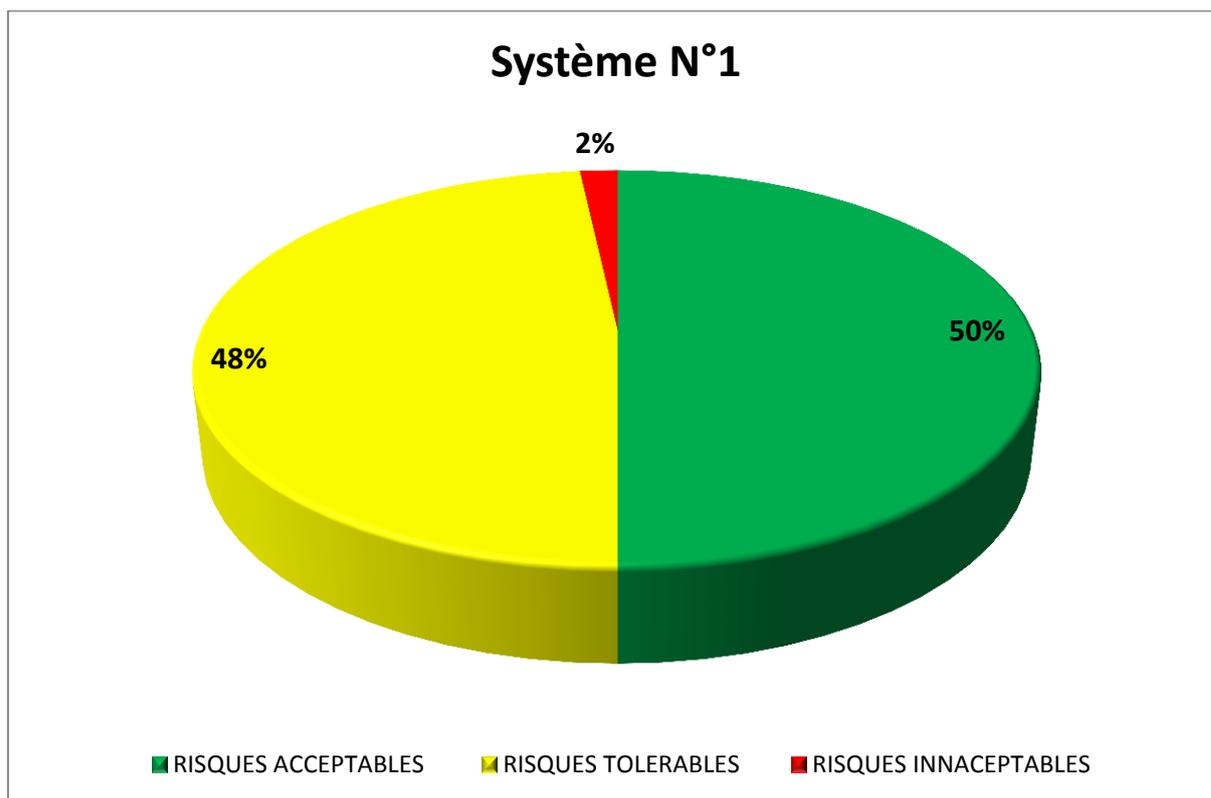


Figure 3-14 : Répartition des ENS en fonction de la criticité de leurs risques pour le système de préchauffage

– Interprétation

Nous remarquons que la plus grande proportion des risques estimés, qui représentent 50%, sont acceptables, ce qui est dû notamment aux mesures de prévention en place, entre autres les équipements de régulation automatisés qui permettent de maîtriser certaines situations. Les risques tolérables qui représentent 48% feront l'objet de recommandations pour leur réduction. Les risques inacceptables qui représentent 2% dont l'évènement non souhaité est l'incendie. Celui-ci fera l'objet d'une proposition d'une solution de protection appropriée.

A noter qu'au niveau des mesures mises en place pour la maîtrise des risques, une carence au niveau des mesures de protection a été remarquée notamment dans les protections anti incendie (voir tableau de l'annexe A).

✓ Résultats (système N°2)

Le tableau 3-6 exprime le nombre d'ENS relevés distribués selon la catégorie de risques à laquelle ils appartiennent.

Tableau 3-6 : Hiérarchisation des risques du système N°2

Catégorie du risque	Nombre	Pourcentage
Risques acceptables	4	29%
Risques tolérables	9	64%
Risques inacceptables	1	7%
Total	14	100%

Les résultats sont repris dans la figure 3-14.

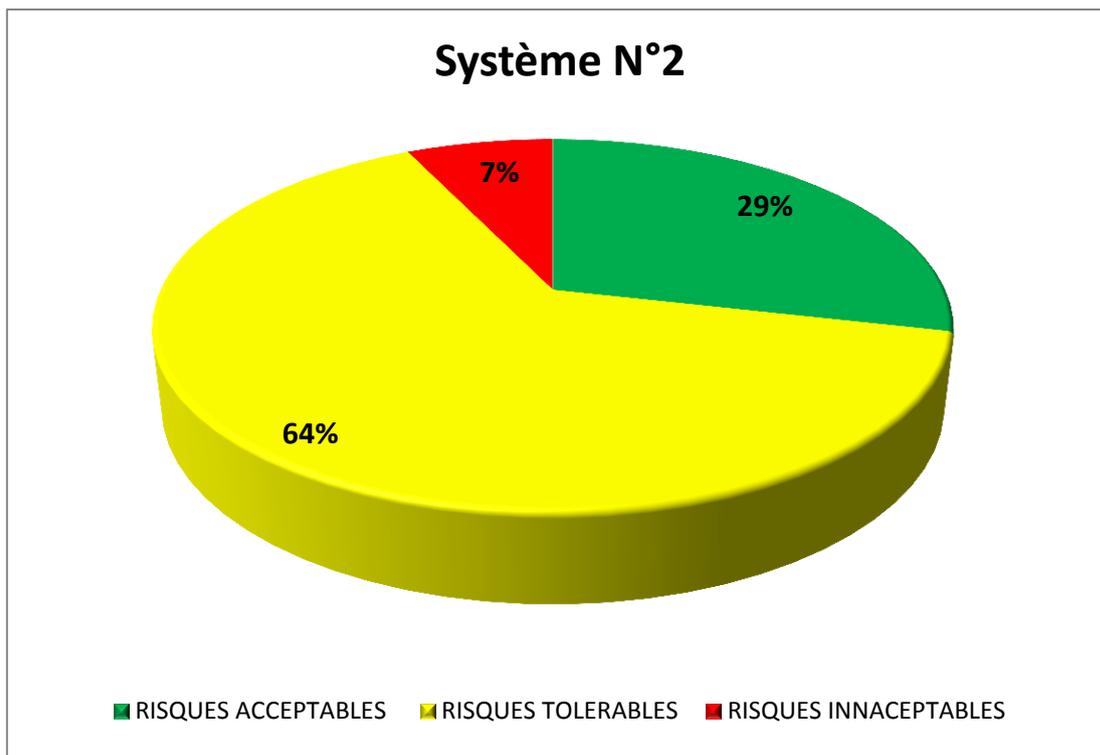


Figure 3-15 : Répartition des ENS en fonction de la criticité de leurs risques pour le système de refroidissement

– Interprétation

Nous remarquons que la plus grande proportion des risques estimés, qui représentent 64%, sont tolérables. Ils feront l'objet de recommandations pour leur réduction. Les risques acceptables qui représentent 29% sont notamment dû aux mesures de prévention en place, entre autres les équipements de régulation automatisés qui permettent de maîtriser certaines situations. Les risques inacceptables qui représentent 7% dont l'évènement non souhaité est l'incendie qui fera l'objet d'une proposition de solution de protection appropriée.

L'un des éléments qui est ressorti du déploiement de l'analyse est l'apparition répétée d'un équipement dans les causes éventuelles des évènements non souhaités relevés et aussi par retour d'expérience des accidents enregistrés. L'équipement en question est le ventilateur de tirage **ID FAN** qui a un rôle très important dans le procédé de fabrication, car il est considéré comme le poumon qui assure la circulation des gaz dans quasiment toute la ligne de production (la partie chaude du refroidisseur, le four et la tour de préchauffage). L'apparition d'une anomalie majeure au niveau de cet équipement pourrait causer l'avènement d'accidents

au niveau de la partie cuisson. Aussi, dans la seconde partie de l'analyse nous allons appliquer une AMDEC au ventilateur ID FAN.

3.2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités

Une fois le système ID FAN identifié, le déploiement de l'AMDEC nécessite une analyse fonctionnelle au préalable qui déterminera le niveau de détail auquel s'arrêtera l'analyse, pour pouvoir en suite conduire l'analyse des modes de défaillances des composants ciblés.

3.2.1 Identification des systèmes

- ✓ **Le ventilateur « ID FAN »**
 - **Mission principale :** Assurer le tirage des gaz du four dans la tour de préchauffage.
 - **Missions intermédiaires :**
 - Assurer la dépression de l'air pour cyclonage et par la même occasion l'échange thermique au niveau des cyclones de la tour.
 - Assurer le point zéro au niveau du refroidisseur.
 - Refouler de l'air chaud vers la tour de conditionnement.
 - **Entrée :** Les gaz poussiéreux à environ 300C° provenant du sommet de la tour de préchauffage.
 - **Sortie :** Gaz refoulés vers la tour de conditionnement et l'atelier cru.



Figure 3-16 : Vue de l'extérieure de l'ID Fan [EXCLUSIF]

○ Caractéristiques

Les principales caractéristiques de l'ID FAN sont reprises dans le tableau 3-7.

Tableau 3-7 : Caractéristiques techniques de l'ID FAN

Paramètre	Valeur nominale
Débit à l'aspiration	272 m ³ /s
Pression statique à l'aspiration	-8640 Pa
Pression statique au refoulement	-200 Pa
Température à l'aspiration	304 °C
Vitesse	990 tr/mn
Puissance absorbée en température normale de fonctionnement (avec poussières)	2845 KW

Remarque : Ces valeurs sont des valeurs nominales que le constructeur recommande. En réalité, le système fonctionne en dessous de ces valeurs, autant que possible, sauf dans des cas extrêmes.

○ Schématisation du ventilateur

Le schéma repris dans la figure 3-17 reprend les composants du ventilateur « ID FAN » et les flux qui le traversent.

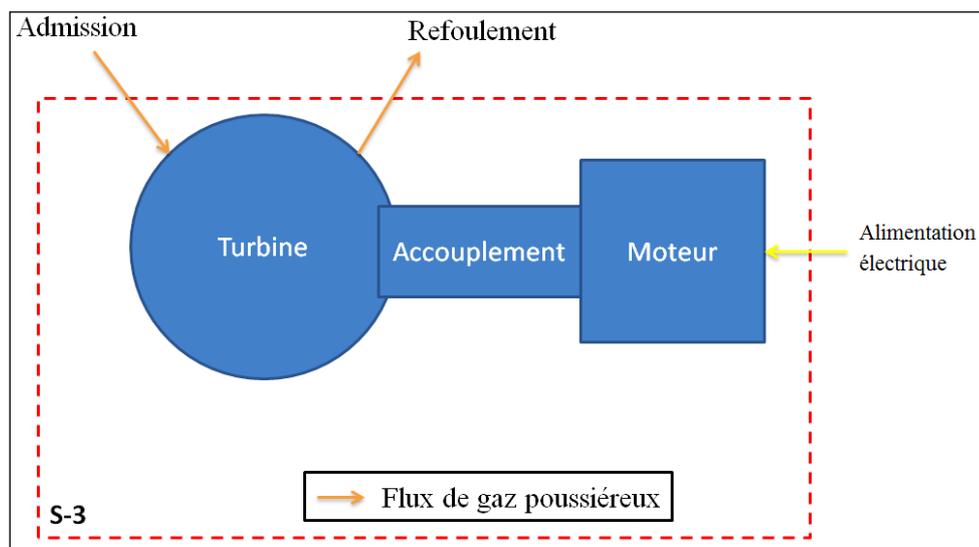


Figure 3-17 : Schéma des sous-systèmes composant l'ID FAN

3.2.2 Découpage fonctionnel

L'ID FAN peut-être décomposé à un premier niveau en 3 grandes parties (figure 3-18):

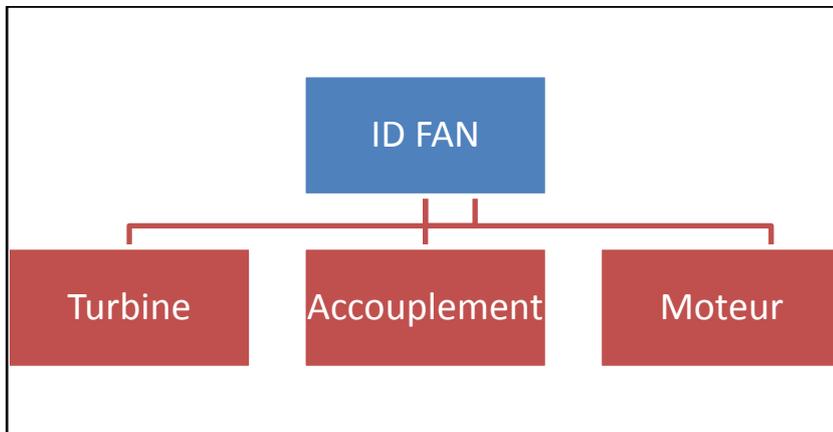


Figure 3-18: Découpage fonctionnel de l'ID FAN

- **La turbine** qui assure le mouvement des gaz, grâce à sa forme et à la rotation de ses aubes. Il y a entrainement des gaz de l'entrée vers la sortie.
- **Le moteur** électrique qui assure la rotation de la turbine grâce à son arbre excité par le stator et dont la vitesse de rotation est réglée par un variateur de vitesse.
- **Un accouplement** qui assure la jonction et la transmission de l'énergie rotative de l'arbre du moteur à l'axe de la turbine.

Chaque partie se subdivise en composants comme suit :

✓ Turbine

Elle comporte plusieurs composants qui sont regroupés sur la figure 3-19.

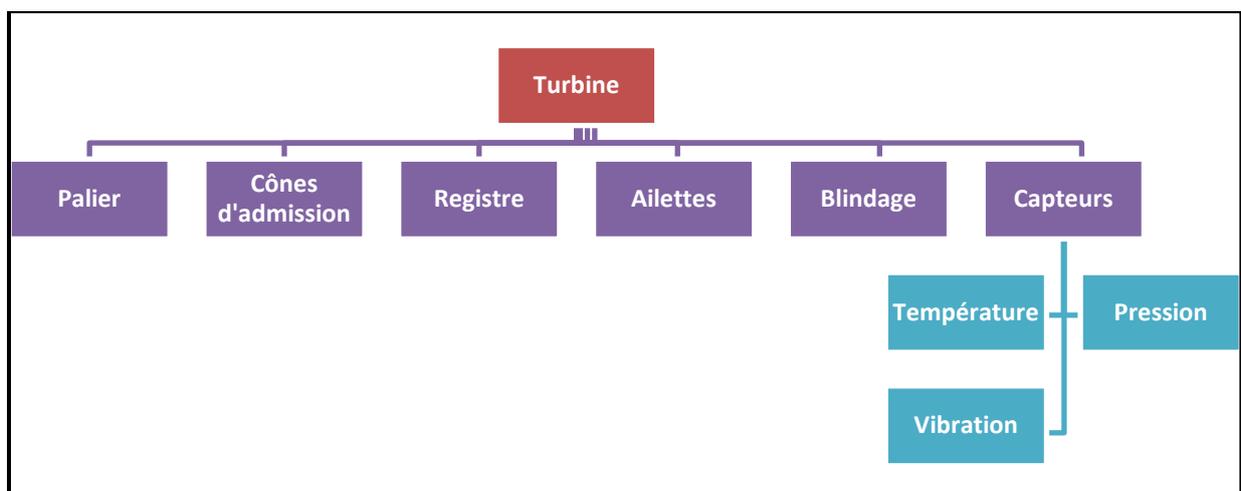


Figure 3-19 : Composants de la turbine

La fonction de chaque composant est résumée comme suit :

- **Palier** : support pour l'axe du ventilateur (deux extrémités de l'axe).
- **Cônes d'admission** : réception et orientation des gaz d'admission provenant de la tour.
- **Registre** : réglage de l'admission d'air en (%).
- **Ailettes** : rotation pour créer la dépression (tirage).
- **Blindage** : étanchéité du système.
- **Capteurs**
 - **Température** : indication de la température de l'axe et des gaz ventilés.
 - **Pression** : indication de pression des gaz.
 - **Vibration** : indication sur les vibrations de l'axe.
- ✓ **Moteur**

Ses composants sont regroupés sur la figure 3-20.

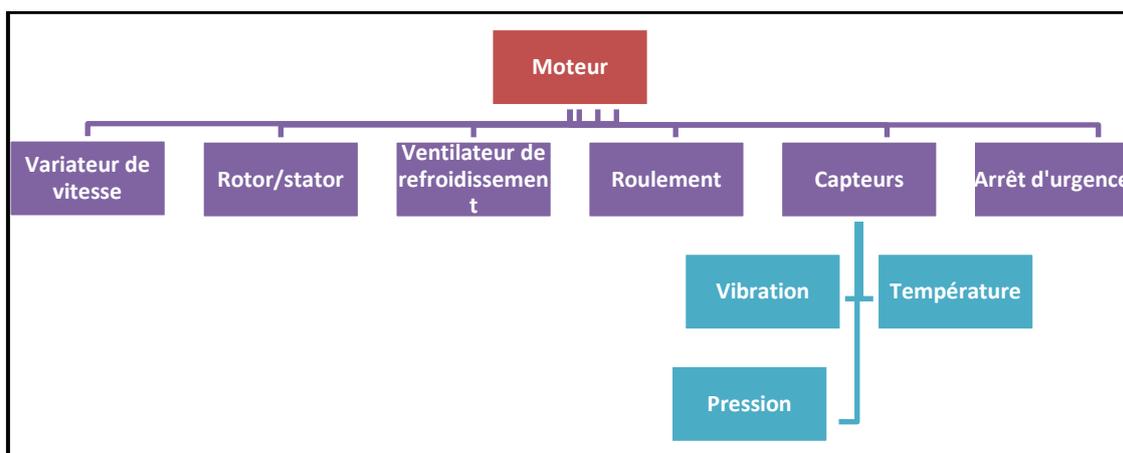


Figure 3-20 : Composants du moteur

La fonction de chaque composant est résumée comme suit :

- **Le variateur de vitesse** : contrôle de la vitesse du moteur.
- **Le rotor/stator** : excitation de l'arbre de transmission pour la convection de l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation.
- **Ventilateur de refroidissement** : refroidissement du bobinage du stator et le rotor.
- **Roulement** : soulever l'arbre pour assurer sa rotation.

- **Capteurs**
 - **Température** : indication de la température des paliers et du bobinage.
 - **Pression** : indication de pression (aspiration et refoulement)
 - **Vibration** : indication sur les vibrations du moteur
- **Arrêt d'urgence** : arrêt du système en cas d'anomalie, manuellement.

✓ **Accouplement**

Il comporte plusieurs composants que nous pouvons regrouper sur la figure (3-21)

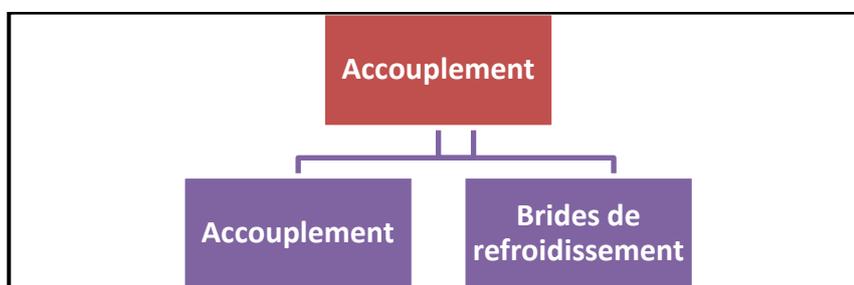


Figure 3-21 : Composants de l'accouplement

La fonction de chaque composant est résumée comme suit :

- **L'accouplement** : transmission de la puissance de l'arbre du moteur vers la turbine.
- **Les brides de refroidissement** : refroidissement des paliers de la turbine.

3.2.3 Critères d'évaluation

Pour l'évaluation de la criticité des modes de défaillances, on fait appel à des grilles d'appréciation des probabilités d'occurrence, de la criticité et de la détection qui ont été établis et validés par l'équipe de l'usine et l'encadrement pédagogique. Ces grilles sont rassemblées dans les tableaux (3-8), (3-9) et (3-10);

Tableau 3-8 : Échelle de probabilité

Probabilité	
Échelle	Traduction quantitative
4	Évènement très probable : s'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites
3	Évènement probable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.
2	Évènement peu probable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites.
1	Évènement improbable : ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.

Tableau 3-9 : Échelle de gravité

Gravité	
Échelle	Traduction quantitative
4	Effets critiques (irréversibles) : arrêt du système, détérioration irréversible de l'équipement ou atteinte de la sécurité à l'extérieur du site
3	Effets critiques (réversibles) : arrêt du système, détérioration réversible de l'équipement ou de la sécurité
2	Aucun effet critique : le système continue à fonctionner, détérioration limitée au composant
1	Pas d'effets significatifs sur l'équipement

Tableau 3-10 : Échelle de détection

Détection	
Échelle	Traduction quantitative
4	Non détectable
3	visuelle
2	Détection manuelle : appareils de mesures ponctuelles
1	Détection automatique : détecteurs fixes automatisés, interlocks

3.2.1 Déploiement et résultats

Le déploiement de la méthode s'est fait à l'aide d'un tableau (annexe B) qui résume toutes les étapes suivies pour faire ressortir les défaillances critiques qui peuvent affecter le fonctionnement du système et par la même occasion les systèmes de préchauffage et de refroidissement.

Les éléments qui ressortent de l'analyse sont principalement les modes de défaillances liés aux blocages physiques et accumulation de matière. Les résultats obtenus sont exprimés dans la figure (3-22).

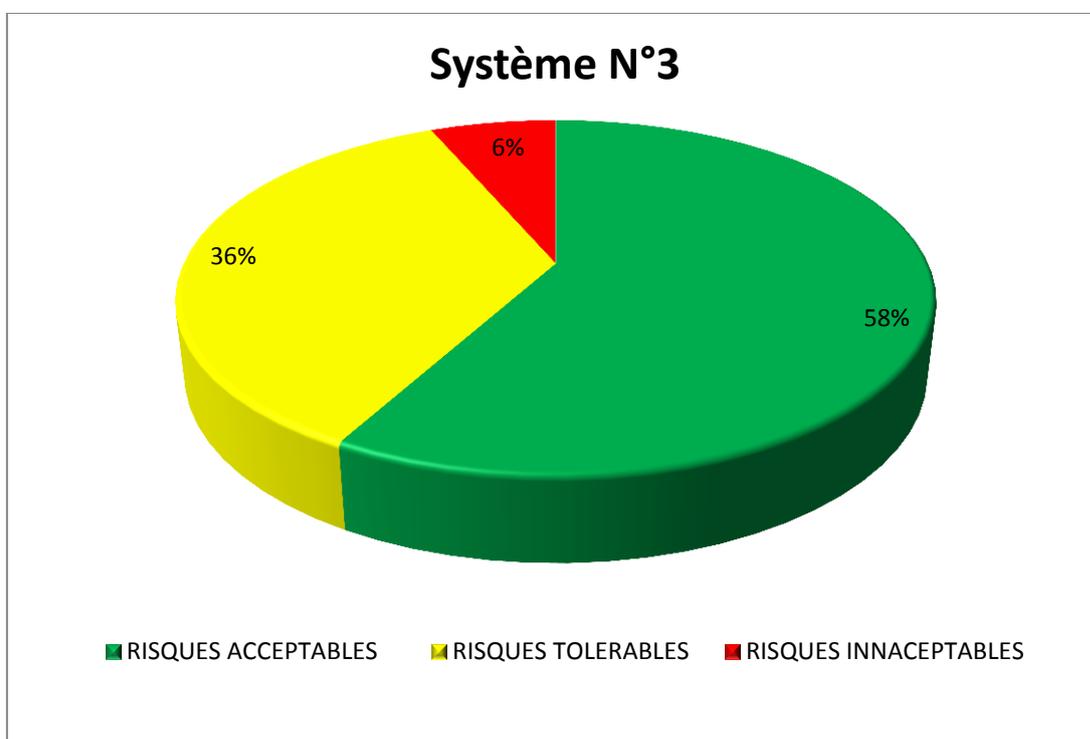


Figure 3-22 : Répartition des modes de défaillances en fonction de la criticité de leurs risques pour le système ID FAN

Le tableau 3-11 exprime les estimations reprises dans la figure 3-22.

Tableau 3-11 : Hiérarchisation des risques du système N°3

Catégorie du risque	Nombre	Pourcentage
Risques acceptables	18	58%
Risques tolérables	11	35%
Risques inacceptables	2	6%
Total	31	100%

– **Interprétation :**

Nous remarquons que la plus grande proportion des risques estimés, qui représentent 58%, sont acceptables. Ceci est dû notamment aux mesures de prévention en place, entre autres les équipements de détections automatisés qui permettent de maîtriser certaines situations (vibrations excessives, variation de pression et de température). Les risques tolérables qui représentent 35% feront l'objet de recommandations pour leur réduction. Pour les risques inacceptables qui représentent 6%, la mise en œuvre des recommandations est primordiale pour la réduction du niveau de risque encouru.

3.3 Recommandations

Les recommandations d'ordre organisationnel portent sur le renforcement des gammes d'inspection ciblant les points faibles de l'installation (portes de visites, joints d'étanchéité), et sur le système de remontée de l'information de façon à ce qu'il soit plus réactif et efficace.

Quant aux recommandations d'ordre opérationnel, elles concernent l'installation de détecteurs de gaz. En effet, pour prévenir les petites fuites de gaz naturel industriel (inodore) qui ne sont pas détectables par différence de pression au niveau de la salle de contrôle, il serait préférable d'installer ces détecteurs à proximité des brûleurs (brûleur pré-calcinateur et brûleur principal).

Pour les recommandations de premier ordre au niveau du ventilateur ID FAN on en retient deux :

- La protection du palier libre de la turbine avec un cache.
- Le nettoyage des boutons de déclenchement de l'arrêt d'urgence et sa protection contre d'éventuels dépôts de matière.

Si l'application des recommandations et la mise en place de la solution anti-incendie sont effectives, cela permettra de réduire considérablement les niveaux de risques relevés dans l'état actuel des choses. La répartition des risques préconisée dans ce cas est exposée dans le tableau 3-12.

Tableau 3-12 : Impact de la mise en œuvre des recommandations sur la répartition des risques

	État actuel				Après la mise en œuvre des recommandations			
	Système		total	%	Système		total	%
	1	2			1	2		
Risques acceptables	29	4	33	46	46	8	54	75
Risques tolérables	28	9	37	51	12	6	18	25
Risques inacceptables	1	1	2	3	0	0	0	0
TOTAL	58	14	72	100	58	14	72	100

Les risques critiques qui ont été retenus sont les risques d'incendie. Ils représentent des risques inacceptables qui peuvent être à la source d'avènement de catastrophes qui affecteront autant les cibles humaines que matérielles au niveau de l'installation. Pour la maîtrise d'un tel risque la faiblesse des mesures de protection en place nécessite la proposition d'une solution plus efficace de lutte contre les incendies. Ces solutions seront traitées lors du chapitre suivant.

CHAPITRE 4 MESURES DE PROTECTION

Face au niveau de criticité élevé des risques incendies qui ressortent de notre analyse des risques majeurs abordé dans le chapitre précédent, les mesures de protections contre les incendies se font par la proposition de systèmes qui intègrent des agents d'extinction appropriés et des équipements adaptés à l'installation à protéger.

Le présent chapitre traite en premier lieu l'incendie comme phénomène dangereux et met en revue les moyens anti-incendie mis en place au niveau des systèmes ciblés (tour de préchauffage et refroidisseur) par l'AR. Il traite ensuite, de l'étude de l'implantation d'un système de lutte contre les incendies menée au sein de l'entreprise GDSS. Enfin, une estimation des coûts de l'installation d'un tel système vient clôturer le chapitre.

4.1 Caractéristiques d'un incendie

Le feu a été longuement considéré comme une invention de génie dans l'évolution de l'homme. Néanmoins, de nos jours, de par l'évolution technologique qu'a connu le monde, la maîtrise des phénomènes qui découle du déclenchement et de la propagation accidentelle des feux (incendie), qui donnent lieu à des incendies, fait l'objet de nombreux domaines d'expertise.

4.1.1 Le feu

Le feu est une réaction de combustion qui est due à la réaction de deux corps : un combustible et un oxydant (ou comburant) qui est généralement l'oxygène de l'air.

✓ Triangle de feux

Le feu étant le résultat d'une réaction de combustion, celle-ci ne peut avoir lieu que dans des conditions bien définies, et en particulier à partir d'une température qui varie d'un corps à l'autre. Cette réaction est exothermique. La combustion, et donc le feu, ne peut se produire que lors de la réunion des trois éléments qui sont le combustible, le comburant et une source d'énergie (chaleur, surpression, ...). Ce principe fondamental est souvent représenté sous la forme du « triangle du feu » qui est illustré dans la figure (4-1).

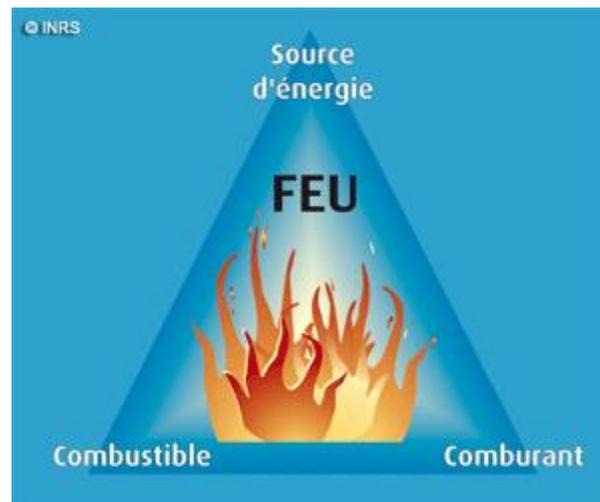


Figure 4-1 : Triangle de feu [13]

✓ Effet du feu

La combustion des matériaux s'effectue en dégageant un certain nombre de gaz (CO , CO_2 , NO_x ...) qui peuvent avoir des effets toxiques et corrosifs. Par ailleurs, portés à température élevée, ces gaz vont contribuer à la propagation du feu. Les fumées dégagées ont pour effet de gêner et souvent même d'empêcher toute intervention des secours.

Trois phénomènes thermiques conditionnent la propagation d'un feu :

– Rayonnement

La réaction de combustion produit de la chaleur, des gaz et de la fumée. La chaleur, souvent considérable, dégagée par le foyer, peut communiquer le feu à tout combustible qui se trouve à proximité : c'est la propagation par rayonnement.

– Conduction

Suffisamment chauffés par le foyer initial, des matériaux bons conducteurs de la chaleur (métal en particulier) peuvent à leur tour échauffer suffisamment des matières combustibles : c'est la propagation par conduction.

– Convection

Les gaz émis lors d'une combustion sont chauds. Ces gaz chauds qui sont répandus peuvent, à leur tour, s'enflammer ou enflammer des matières combustibles : c'est la propagation par convection.

4.1.2 L'incendie

La plupart des petits feux dans l'industrie sont rapidement éteints. Cependant, les incendies industriels peuvent être très puissants, s'accompagner d'explosions, de la libération et de la dispersion de produits toxiques pour les personnes ou dangereux pour l'environnement. C'est pour cela que la mise en place de moyens techniques de protection courants ou spécifiques, est indispensable pour combattre de tels incendies.

✓ Phases d'un incendie

Dans le déroulement d'un incendie, on peut distinguer cinq phases successives. La courbe de la figure 4-2 représente le développement d'un incendie en considérant qu'il était suffisamment alimenté en comburant, en combustible et en énergie [14].

- **Phase 1**: feu couvant; après allumage par un point chaud, il y a début de combustion avec formation de fumées (OA).
- **Phase 2** : combustion; apparition de flammes avec dégagement de gaz chauds et incomplètement brûlés (AB).
- **Phase 3** : embrasement généralisé ou «flash over»; les gaz chauds (combustibles) et les particules imbrûlées des fumées portées à température d'auto- inflammation provoquent l'embrasement (BC).
- **Phase 4** : développement de l'incendie; cette phase dépend de l'aliment du feu en combustible et en comburant (CD).
- **Phase 5** : décroissance; soit du fait de l'intervention, soit du fait de la disparition du combustible.

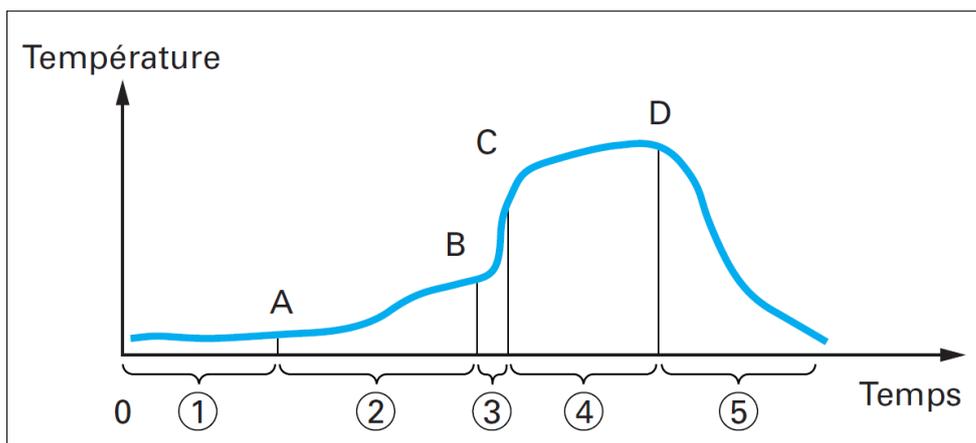


Figure 4-2 : Les cinq phases d'un incendie [14]

✓ Moyens techniques de protection contre les incendies

La protection contre le risque d'incendie repose essentiellement sur des moyens humains et des moyens techniques qui sont déployés après le départ d'un incendie (phase AC). Les moyens n'agissent pas tous de la même manière sur l'incendie, aussi bien les agents d'extinction proposés que les équipements utilisés.

– Agents d'extinction

▪ L'eau

L'action de l'eau a pour effet d'abaisser la température et d'étouffer le foyer par production de vapeur.

L'action de l'eau est d'autant plus rapide que l'échange thermique entre la masse d'eau et le foyer peut se faire rapidement. Plus les gouttes sont de petit diamètre plus la surface d'échange est élevée et l'extinction efficace.

▪ La mousse

La projection d'une mousse à la surface d'un liquide à éteindre a pour effet de constituer un écran entre la surface du liquide et les vapeurs enflammées et contribue au refroidissement.

Les mousses sont constituées d'un mélange d'eau et d'émulseur (ou solution moussante).

- La poudre

Les poudres ont pour effet d'arrêter presque immédiatement les flammes mais n'ont aucun effet sur les braises. Elles sont généralement à base de bicarbonate de sodium ou de potassium et sont le plus souvent utilisées en extincteurs portables. Elles ne sont pas toxiques mais sont légèrement piquantes pour les yeux et ne doivent pas être respirées.

- **Équipements**

- **Extincteurs**

Un extincteur est un appareil contenant un produit extincteur (eau, CO₂, poudre) qui peut être projeté et dirigé sur un feu par l'action d'une pression; ceci ayant pour but d'éteindre un début d'incendie.

La nature de l'agent extincteur retenu est fonction de la classe de feu la plus probable dans la zone d'utilisation de l'appareil.

Nous distinguons quatre classes de feux [13]:

- Les feux de matériaux solides ou « brisants » (bois, papier, tissu, plastiques...), dits de **classe A** ;
- Les feux de liquides ou de solides liquéfiables, ou « feux gras » (essence, alcools, solvants, paraffines...), dits de **classe B** ;
- Les feux de gaz et d'électricité, dits de **classe C** ;
- Les feux de métaux (magnésium, sodium), dits de **classe D**.

Les principaux agents extincteurs utilisés sur le matériel portable sont les suivants [13] :

- L'eau pulvérisée (**A**) ;
- L'eau pulvérisée avec additif (**AB**) ;
- Les poudres (**ABC**);
- Les poudres (**BC**);
- Le dioxyde de carbone (**BC**) ;
- Les poudres (**D**).

▪ **Robinets d'incendie armés (RIA)**

L'installation des RIA, leur nombre et leur alimentation en eau sont définis à la fois par la norme NF S62-201 et dans la règle R5 de l'Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages (APSAD) [15].

Il existe deux diamètres normalisés (DN) : DN20 et DN40 correspondant à 20 mm et 40 mm.

Les RIA sont placés à l'intérieur des bâtiments, près des accès (à la disposition des personnes présentes pour une intervention rapide). Tout point du local doit pouvoir être atteint simultanément par le jet de deux RIA. Pour cela, on admet les portées suivantes en jet plein : [14]

- Portée 12 m pour le RIA DN 20.
- Portée 20 m pour le RIA DN 40.

Les sources d'eau doivent être calculées pour alimenter simultanément pendant deux heures, 50% des RIA.

Pour la tour de préchauffage, nous calculons par rapport à huit RIA et nous rapportons cela avec le coefficient de simultanéité à un minimum de trois (3) RIA qui peuvent être utilisés en même temps (qui correspond aux trois étages de la tour) soit environ 30%.

▪ **Bouches et poteaux d'incendie (PI)**

Ce sont des installations composées d'une canalisation métallique ils font l'objet des normes NF S61-211 et 61-213 d'alimentation en eau terminée :

- Pour la bouche, par un raccord de 100mm.
- Pour le poteau, par un raccord 100 mm et deux prises symétriques 65mm.

▪ **Lance à incendie**

C'est un équipement qui sert à projeter de l'eau. Le jet d'eau peut être orienté avec un angle de 360° et atteindre une hauteur de 100 m.

▪ Station de pompage

Le réseau anti-incendie doit être alimenté par une station de pompage. Cette station sera reliée à un réservoir d'eau d'incendie.

La station de pompage (*skid* de pompes) qui assure l'alimentation en eau du réseau comporte trois pompes :

- Électro pompe : alimentée par le réseau électrique. Elle permet d'avoir la pression et le débit d'eau nécessaire pour le fonctionnement du système anti incendie mis en place.
- Moto pompe : pompe alimentée en fioul. Elle fonctionnera à la place de l'électro pompe en cas de coupure de courant électrique et possède les mêmes caractéristiques que l'électro pompe.
- Pompe *jockey* : son rôle est de maintenir la pression dans le réseau afin d'assurer le fonctionnement idéal des équipements anti incendie en place (RIA, PI...).

Ces trois pompes seront choisies selon les besoins du réseau en débit et de la hauteur maximale que va atteindre ce réseau (pression).

La station d'alimentation doit être constamment en mesure de fonctionner de manière autonome et doit assurer le débit dans les équipements anti-incendie pendant deux heures.

4.2 Inventaire des moyens de protection contre les incendies

Au niveau de notre cimenterie les moyens de protection en place se résument à la disponibilité d'extincteurs dans les différentes zones de l'usine.

L'usine dispose aussi d'une équipe d'intervention de lutte contre les incendies disposant de moyens d'intervention en cas de départ d'incendie.

Le tableau suivant résume les moyens disponibles dans les zones des deux systèmes qui ont fait l'objet de l'analyse (la tour de préchauffage et le refroidisseur).

Tableau 4-1 : Inventaire des moyens de lutte contre les incendies dans les installations ciblées

Moyens	Nombre	Capacité
Camion d'intervention	1	9000 L d'eau 1500 L mousse 500 Kg de poudre CO ₂ Équipement d'intervention
Véhicule de premier départ	1	/
Équipe d'intervention	2	/
Extincteurs	8	CO ₂ (5Kg)
	4	à eau
Temps d'intervention	10-15 min	

4.3 Étude de l'implémentation d'un système anti incendie

Pour l'étude de réalisation d'un système anti incendie, il faut impérativement passer par plusieurs étapes de façon à donner une solution optimale de lutte contre les incendies qui pourraient se déclencher dans les zones qui font l'objet de l'étude.

La démarche qui a été adoptée pour la conduction de l'étude est résumée dans la figure 4-3

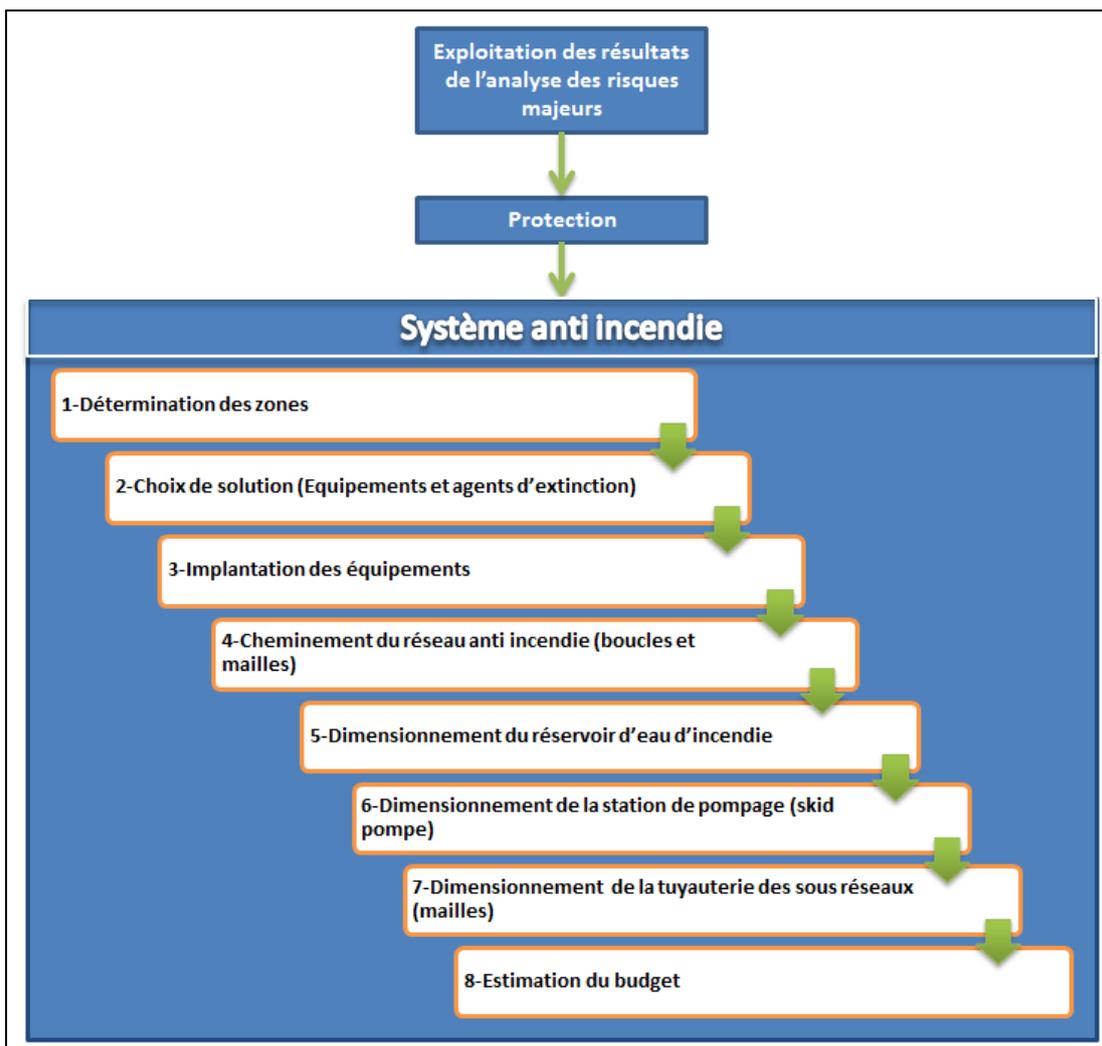


Figure 4-3 : Processus de l'étude de l'implantation d'un système anti incendie

4.3.1 Descriptif

✓ Réglementation

La réglementation algérienne, à travers les lois et décrets traitant de la protection et de l'intervention en cas des accidents majeurs, met en avant la nécessité de prévoir des moyens en matière de protection des installations. L'usine de M'Sila est soumise aux décrets qui cadrent les installations classées par la protection de l'environnement (ICPE). Elle rentre, entre autre, de par la nomenclature des ICPE, dans la catégorie des installations soumises à autorisation ministérielle. La liste suivante regroupe les lois et décrets qui régissent l'installation. En plus des lois déjà vues.

- Décret exécutif N° 09-335 du 20/10/2009, fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des Plans d'Interventions Internes.
- Décret N° 09- 245 du 18/08/1990, portant sur les appareils sous pression de gaz.

✓ Implantation des équipements anti-incendie

Le plan ci-dessous (figure 4-4) précise la situation des zones qui sont ciblées par l'implantation du système anti-incendie, à savoir les deux tours de préchauffage (S-1 et S-1') et les deux refroidisseurs (S-2 et S-2').

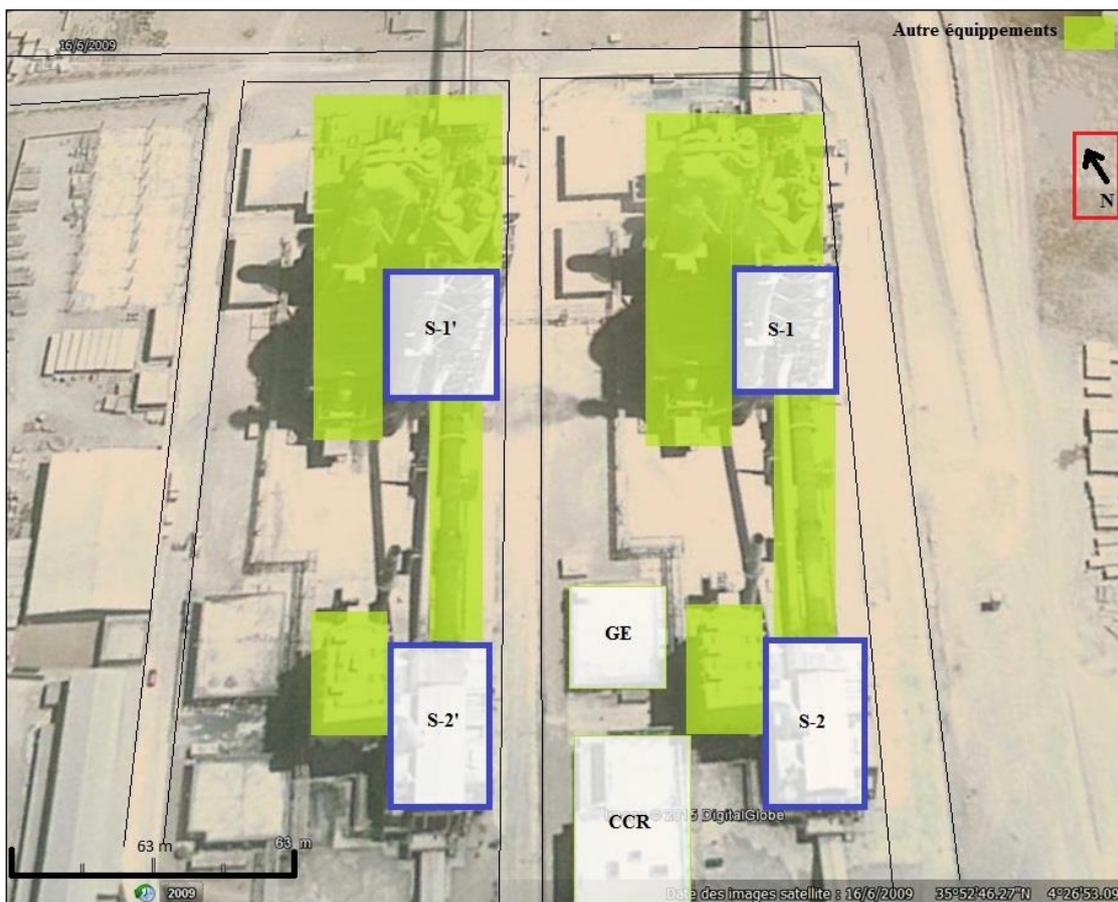


Figure 4-4 : Situation des zones (vue de haut)

Pour chaque tour de préchauffage (S-1 et S-1'), nous optons pour l'installation d'un RIA par étage, chaque RIA sera situé au niveau de chaque étage à côté des escaliers, qui représentent le point d'accès aux étages en cas d'incident. Notre choix se portera sur les RIA DN 40 avec un débit nominal de 2 L.s^{-1} , avec une longueur de tuyau incendie de 30 m. (ANNEXE C). La surface que couvre le jet d'un RIA dépasse largement la surface d'un étage. La tour comportant huit (8) étages, nous optons pour 8 RIA.

Pour la partie du refroidisseur (S-2 et S-2'), nous optons pour 3 RIA, un au niveau de chaque étage.

Au pied de chaque tour, nous prévoyons l'installation de lances à incendies, dans le cas où il ne serait pas possible d'accéder à la tour en cas de déclenchement d'un incendie. L'équipement que nous avons choisi débite un maximum de $2000 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ avec une pression de 16 bars. (ANNEXE D)

Des poteaux à incendie sont disposés de façon à permettre un branchement facile des lances et équipements lors de l'intervention des pompiers et du personnel formé. Nous préconisons l'installation de poteaux d'incendies avec un débit nominale de $17 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ chacun. (ANNEXE E)

Le plan ci-dessous (figure 4-5) résume la disposition des équipements sur les deux lignes de production.

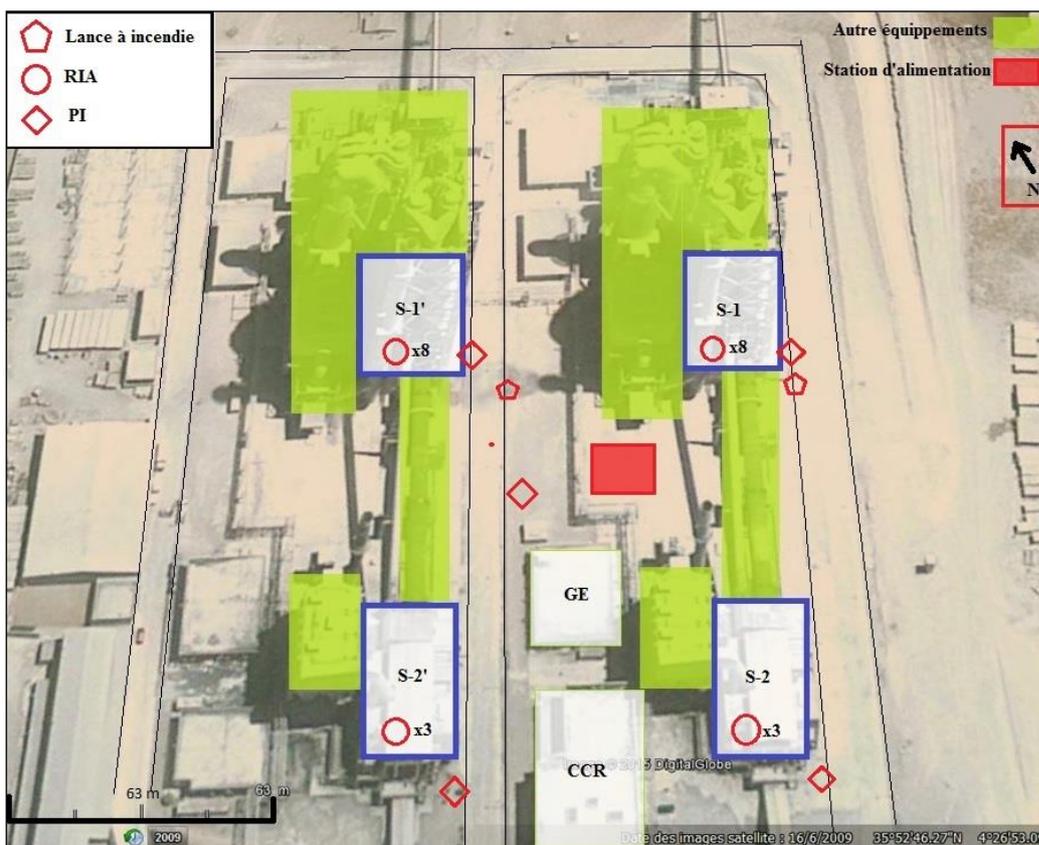


Figure 4-5 : Implantation des équipements du réseau anti incendie

✓ Cheminement du réseau de tuyauterie

Le réseau anti incendie est soumis à certaines conventions et exigences comme suit:

Le réseau :

- doit être bouclé et fermé.
- doit comporter la possibilité d'isoler chaque équipement ou sous réseau (RIA, PI et lances) avec l'utilisation de vannes.

Les canalisations :

- doivent être en tube acier galvanisé sans soudure.
- doivent être apparentes et recouvertes de deux couches de peinture aux couleurs conventionnelles (rouge incendie).

La dimension de la tuyauterie est choisie selon les diamètres normalisés (DN40, 50, 65, 80, 100, 125, 200). Le chiffre qui suit le DN exprime le diamètre en millimètre.

Toutes les pièces de raccords, manchons, tés, coudes, bouchons hermétiques et autres sont en fonte malléable.

Remarque : le diamètre optimal des conduites sera calculé par la suite en fonction du débit du réseau principal et celui des équipements qui constituent les sous réseaux RIA, PI et lance à incendie.

Le réseau qui est proposé dans notre cas est illustré dans le plan représenté dans la figure 4-6.

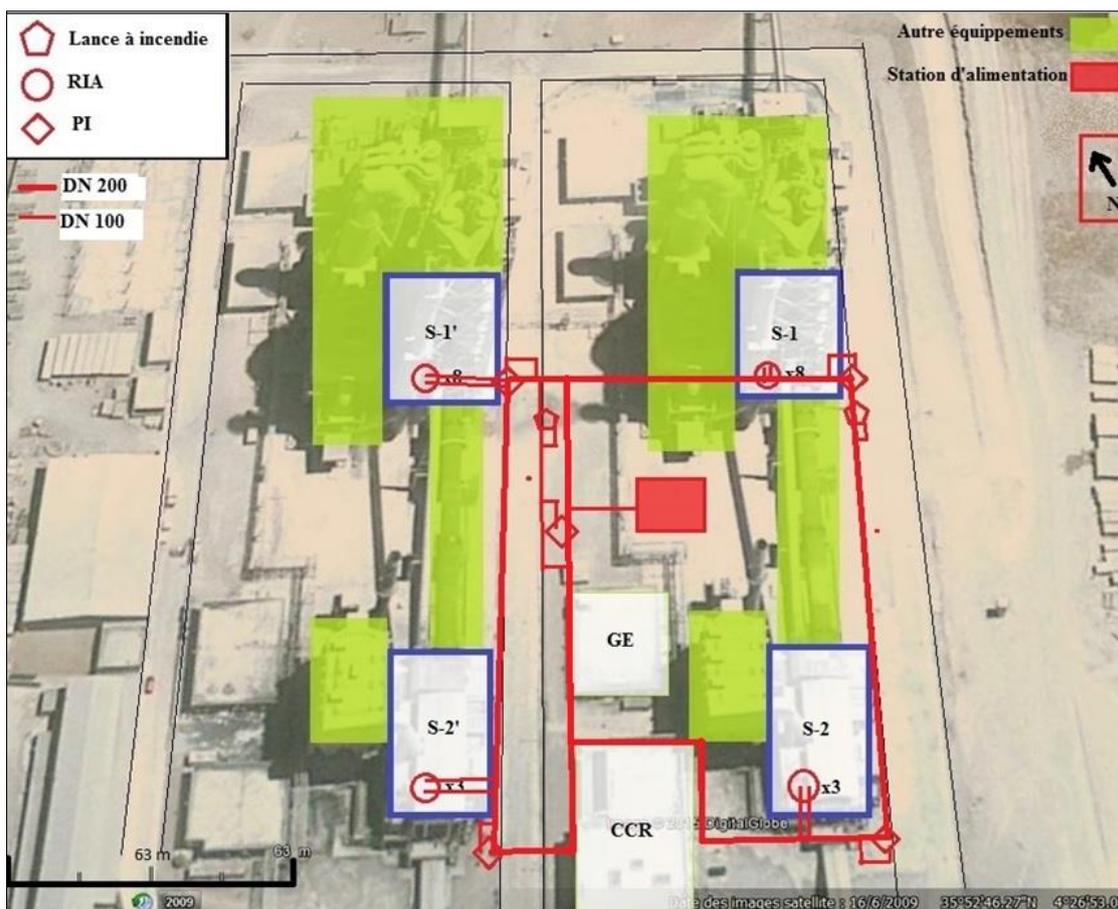


Figure 4-6 : Cheminement du réseau de tuyauterie

4.3.2 Dimensionnement

✓ Calcul du débit requis

Le débit d'eau pour l'installation projetée (fonction des appareils déterminés pour couvrir toutes les zones) est calculé comme suit :

$$Q_n = [(n_{PI} \times Q_{PI}) + (n_{RIA} \times Q_{RIA}) + (n_L \times Q_L)] \times C_s \quad (4-1)$$

C_s : Coefficient de simultanéité.

n_{PI} , Q_{PI} : respectivement nombre et débit de PI.

n_{RIA} , Q_{RIA} : respectivement nombre et débit de RIA.

$n_L \times Q_L$: respectivement nombre et débit de lance à incendie.

Nous calculons le débit requis pour l'alimentation en cas de déclenchement du réseau sur une seule ligne à la fois, car la probabilité qu'un incendie se déclenche simultanément sur les deux lignes est très faible. Avec l'utilisation de 50% du débit d'une ligne en même temps.

D'où $C_s = 0,25$

$$Q_n = (5 \times 17 + (11 \times 2) \times 2 + 2 \times 33,33) \times 0,25$$

$$Q_n = 48,92 \text{ L.s}^{-1} = 176,095 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

✓ **Dimensionnement de la station d'alimentation du réseau**

○ **La capacité du réservoir d'eau**

La condition minimale à satisfaire pour que la capacité en eau soit suffisante est l'alimentation en continu du réseau avec le débit nominal pendant 2 heures de temps.

$$V = Q_n \times 2 \quad (4-2)$$

$$V = 176 \times 2 = 352 \text{ m}^3$$

Ce qui nous ramène dans notre cas à un réservoir qui contient au moins 350 m^3 .

Nous préconisons dans ce cas une bache à eau en béton dont les dimensions sont 10×10 m au sol et 4 mètres de hauteur. Ceci nous permettra d'emmagasiner jusqu'à un maximum de 400 m^3 .

○ **Station de pompage**

La station de pompage comporte comme exposé précédemment trois pompes qui doivent assurer un débit minimum de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. De plus, elles doivent assurer une pression de 14 bars qui est proportionnelle au point le plus haut du réseau (130 mètres).

Les pompes que nous avons choisies à partir des courbes caractéristiques des pompes proposées par le constructeur GMP SPA (ANNEXE F) nous proposons :

- Pompe électrique à axe horizontale en fonte : 180 m³.h⁻¹ de hauteur manométrique (HMT) :120m.
- Pompe électrique (*JOCKEY*) de suppression à axe vertical avec un débit de 15 m³.h⁻¹ et une HMT de 120 m.
- Motopompe à axe horizontal en fonte avec un débit de 180 m³.h⁻¹ et une HMT de 120 m.

✓ Choix de la tuyauterie

Le diamètre d'une canalisation dépend des pertes de charges et des conditions économiques (coût) :

- Si nous choisissons un petit diamètre, les frais d'investissement seront plus faibles mais les pertes d'énergie en exploitation plus élevées.
- Au contraire, si nous augmentons le diamètre, les frais d'investissement augmentent et les pertes d'énergie diminuent.

En fonction des conditions économiques "BRESSE" a établi la formule suivante pour le calcul du diamètre optimum [D_{op}] [16] :

$$D_{op} = K' \cdot V \cdot Q \quad (4-3)$$

Avec : K' : coefficient qui dépend du type de circuit et qui varie de 1,1 à 1,3 soit une moyenne de 1,2

V = 2 m.s⁻¹ (vitesse moyenne admise pour des pertes de charges acceptables).

Q : débit dans la conduite (m³.s⁻¹).

Par ailleurs :

$$Q = VS, \text{ où } S = 3,14 \cdot D_{op}^2/4 \quad (4-4)$$

– La conduite principale

$$D_{op} = 177 \text{ mm}$$

Le diamètre qu'on retient pour la conduite principale est 200 mm (DN 200).

– **Conduites alimentant les RIA**

Nous calculons les diamètres des conduites en utilisant la formule (4-4), nous obtenons les résultats qui sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4-2 : Estimation du diamètre des conduites d'alimentation des RIA

RIA	Débit (L.s ⁻¹)	Débit (m ³ .h ⁻¹)	Diamètre (mm)	Diamètre normalisé
1	2	7,2	35,7	DN40
2	4	14,4	50,5	DN65
3	6	21,6	61,8	DN65

Le calcul est basé sur l'utilisation de trois RIA simultanément sur la colonne ce qui correspond au pire scénario retenu.

Le diamètre que nous retenons pour la colonne montante des RIA est de 65 mm (DN 65). La colonne montante sera bouclée avec le même diamètre. La figure 4-7 décrit l'implantation du système au niveau de la tour de réchauffage. Le même schéma d'implantation sera retenu pour les RIA au niveau du refroidisseur.

Chacune des quatre zones (S-1, S-1', S-2 et S-2') sera équipée de deux réseaux de canalisation bouclée et utilisera une tuyauterie en Acier galvanisé de diamètre DN 65, conservant ses caractéristiques jusqu'à une température minimale de 600°C. Les éléments de robinetterie (raccords et bouchons) doivent être homogènes par familles d'alliages et posséder une résistance correspondant à la pression définie dans la norme NF E 29-002 (pression d'épreuve 25 bars). Le réseau de tuyauterie doit être protégé contre la corrosion.

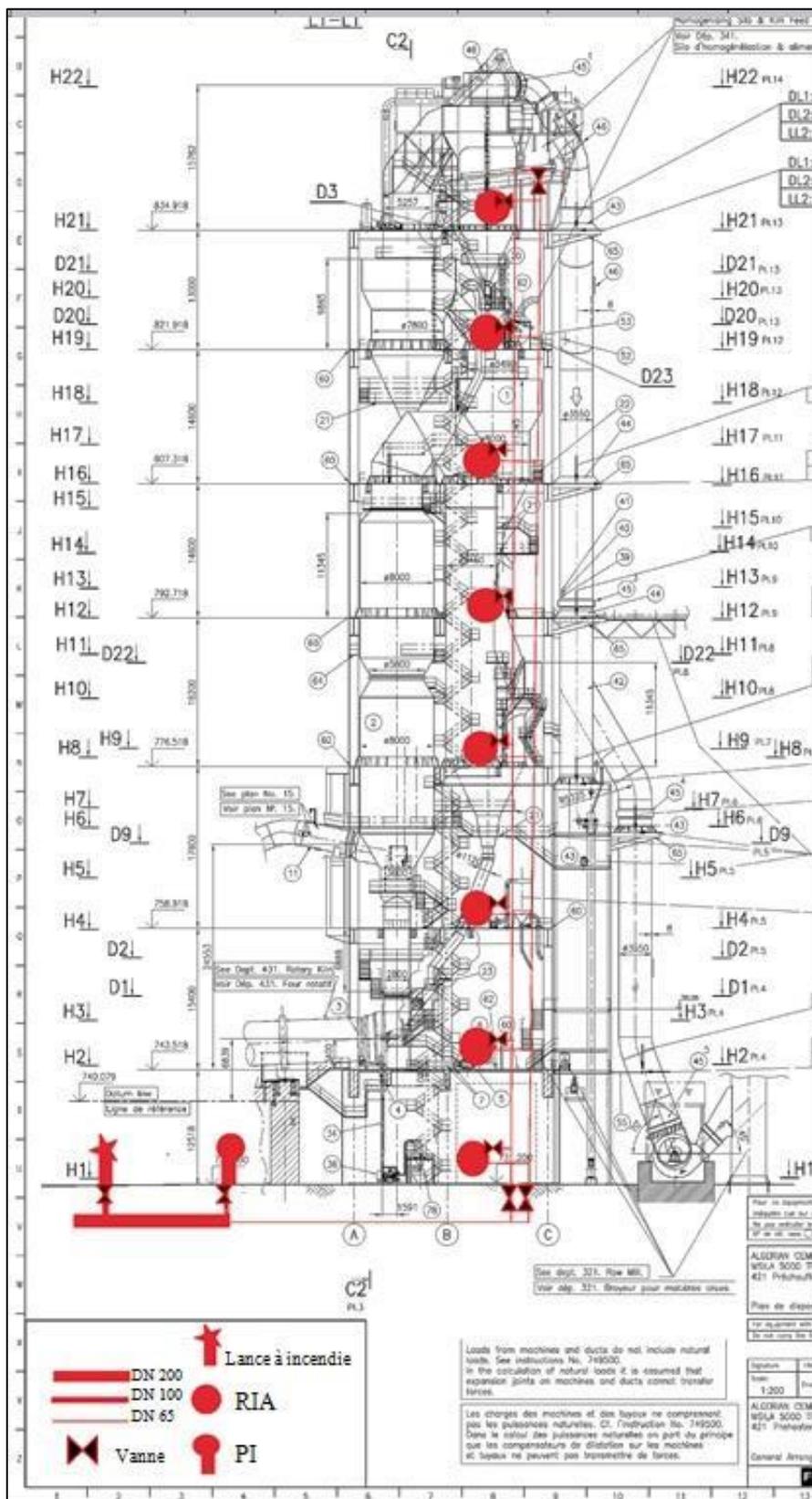


Figure 4-7 : Implantation des équipements et le réseau anti incendie au niveau de la tour de préchauffage

– **Les conduites des lances à eau**

Pour assurer le débit de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ le diamètre requis pour la lance est :

$$D_{op} = 100 \text{ mm.}$$

De ce fait, nous préconisons une tuyauterie de diamètre 100 mm (DN 100).

– **Les poteaux incendie**

Les poteaux incendie seront alimentés selon la norme NF S61-211 et 61-213 par une tuyauterie de diamètre 100 mm (DN100).

4.3.3 Estimation des coûts

L'étape finale qui vient clôturer notre étude d'implantation du système anti incendie est l'estimation du coût que pourrait avoir la solution qui a été proposée.

L'estimation qui est résumée dans le tableau 4-3 à partir des quantités de matériels qui sont ressortis de notre étude, et comptabilisés sur la base des prix actuels du marché. Les prix unitaires établis incluent la fourniture du matériel et de son installation, moyennant les services qui viennent s'ajouter (transport, installation, soudures, tests, etc.) à 25% du prix d'achat du matériel.

Le coût total que nous retrouvons en bas du tableau 4-3, ne représente pas un coût arrêté au centime près; mais il est amené à fluctuer. Lors de l'installation sur le site, nous rencontrerons des contraintes qui n'apparaissent pas forcément dans l'étude et auxquelles il faudra faire face.

Tableau 4-3 : Estimation des coûts de l'installation du système anti incendie proposé

N°	Équipement	Caractéristiques	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total	Observations
1	Conduite principale DN 200	Tube en acier sans soudure DN 200 EP 6,35 mm	ML	525	24 000,00	12 600 000,00	Circuit principal
2	Conduite DN 100	Tube en acier sans soudure DN 100 (102/114,3 EP 3,6mm)	ML	75	7 500,00	562 500,00	Alimentation PI
3	Conduite DN 65 (tertiaire)	Tube en acier sans soudure DN 65 EP 3,2mm)	ML	875	4 800,00	4 200 000,00	Circuit tertiaire
4	Conduite DN 40	Tube en acier sans soudure DN 40 (40/49 EP 3,2mm)	ML	55	2 400,00	132 000,00	Alimentation RIA
5	Vannes d'isolement	Vanne à papillon GH BLEUDN200	UN	25	25 000,00	625 000,00	Sur circuit (maille principal)
6	Vannes d'isolement	Vanne à papillon GH BLEUDN100	UN	5	16 000,00	80 000,00	Circuit secondaire
7	Vannes d'isolement	Vanne à papillon GH BLEUDN65	UN	11	6 500,00	71 500,00	Circuit tertiaire
8	Robinet	Robinet de vidange DN 25	UN	4	950,00	3 800,00	Points basdes conduites
9	Ventouse	Ventouse à bride standard 50/60	UN	4	26 000,00	104 000,00	points haut des conduites
10	Poteau d'Incendie Standards	PI avec une prise symétrique DN100 et deux prises DN 65mm	UN	5	137 614,83	688 074,15	Type C9 NF S61 213
11	Vannes avant PI	Vanne à bride EPX BLEUDN100 -PN16	UN	5	16 000,00	80 000,00	Alimentation PI
12	RIA DN40	RIA DN 33 - 30 M rouge marque POK	UN	22	55 000,00	1 210 000,00	Type P, dont 02 hydro mousse. NF S61 201 et NF S 62 201
13	Vannes avant RIA	Vanne à bride EPX BLEUDN40 -PN16	UN	22	5 500,00	58 544,79	Alimentation PI
14	Lance monitor incendie	type <i>poket monitor</i> de marque POK DN 65 débit2000 l/s en alliage d'aluminium (annexe D)	UN	2	320 000,00	640 000,00	
15	Vannes avant Lance monitor	Vanne à bride EPX BLEUDN65 -PN16	UN	2	6 500,00	13 000,00	Alimentation PI
16	Groupe d'incendie selon les normes EN12845 :180m3/H pour une HMT de 120m contenant pompes électrique, pompes diesel et pompe jockey de 15m/h et toutes suggestion de bon fonctionnement tel que : Un réservoir tampon,	Groupe incendie ED 180 M³/h HMT:120m produit selon les normes européennes EN 12845 marque : GMP SPA d'origine Italie le groupe fourni et posé sur une base en acier composé de: 1/ pompe électrique: 180 M³/h HMT:120m *pompe axe horizontale en fonte type NAN 80-315 RBC (100x80) avec garniture *Moteur électrique 132kw-400V-50Hz-2900 tr/mn - démarrage par étoile triangle, y compris joint élastique pour accouplement pompe/moteur avec protection et boîtier de commande EN 12845 .	ENS	1	8 208 275,92	8 208 275,92	Salle des pompes. Installation sur SKID ou socles avec protections et mise à la terre réglementaires.

	Bouteille démarrage, Accessoires, Système de démarrage progressif, Armoire électrique de commande, Vannerie (aspiration 03 pompes, refoulement pompes jockey et sur conduites bouteilles de démarrage...).	<p>2/ Moto pompe: 180 M³/h HMT:120m *pompe axe horizontale en fonte type NAN 80-315 RBC (100x80) avec garniture *Moteur diesel IVECO AIFO modèle N45MNTF41 refroidi par eau, moteur avec cylindres, y compris joint élastique pour accouplement pompe/moteur avec protection et boîtier de commande EN 12845, deux batterie 12 volt et réservoir carburant 180 litres.</p> <p>3/ pompe électrique de suppression JOCKEY: 15 M³/h HMT:120m *pompe axe vertical V 50C-8/14 avec moteur électrique 3KW230/400V *Réservoir à membrane de 100L / 16 bars avec groupe pressostats et manomètre, et boîtier de commande,</p> <p>4/ ACCESOIRES EN REFOULEMENT : *Collecteur DN 150 en acier (brides PN16 UNI 2278-67) *Vannes DN100 et clapet anti retour DN100 avec port d'inspection *Manchette antivibratoires en aspiration et refoulement pour motopompe *valve de sécurité, monomètre et pressostats *base en acier couleur rouge RAL3020</p> <p>5/Accessoires en aspiration pour la motopompe et la pompe électrique : réduction conique, vannes, et manchette anti vibratoire</p> <p>6/Groupe pour débitmètre : Collecteur DN100, trois(03) vannes et débitmètre</p>					
17	Réservoir d'eau du réseau anti incendie	Capacité: 400 m3 (10*10*4)	EN	1	2 500 000,00	2 500 000,00	
Montant total hors taxes					31 776 694,87 DZD		

CONCLUSION

Le travail effectué pour la maîtrise des risques majeurs, au niveau de la cimenterie de M'Sila (LAFARGE), nous a conduit à déployer une démarche d'analyse des risques et à proposer des solutions pour leur maîtrise.

Dans la première partie, nous nous sommes attachés à présenter le contexte du projet et sa problématique, en mettant en avant le ciment et sa fabrication. Cela nous a permis de ressortir avec une démarche générique de maîtrise des risques technologiques majeurs.

La seconde partie de notre travail a été consacrée aux aspects méthodologiques mettant en revue les principes abordés (risque majeur et professionnel, méthodes d'analyse des risques).

Le déploiement de notre analyse s'est effectué en deux étapes : l'application de l'APR et de l'AMDEC;

L'APR, grâce à un découpage détaillé de l'installation, a permis de relever:

- Un total de 72 ENS au niveau des deux systèmes ciblés (tour de préchauffage et refroidisseur) dont 3 présentant un niveau de risque inacceptable (incendie).
- Un manque de mesures de protections par rapport aux mesures de prévention mises en place, cela a été remarqué lors de la réévaluation des criticités des risques.
- La mise en cause de la défaillance d'un équipement (ventilateur ID FAN) observée dans un nombre élevé d'ENS. Ce qui nous a poussé à nous intéresser de plus près à ses modes de défaillances.

L'analyse fonctionnelle et l'AMDEC, appliquées au système N° 3 (ventilateur ID FAN) ont fait ressortir les modes de défaillances, dont deux à un niveau de risque inacceptable. Ce qui nous a amené à proposer des mesures à mettre en place pour éviter un dysfonctionnement de l'équipement qui pourrait être la cause d'un ENS.

Dans la troisième partie, une solution est proposée en fonction de l'anomalie majeure signalée dans notre analyse, à savoir la protection contre les incendies. Pour ce faire, nous avons effectué l'étude d'implémentation d'un système anti-incendie au niveau de l'atelier cuisson de la cimenterie. Un dimensionnement d'un réseau anti incendie a été effectué dont le coût de réalisation a été estimé environs 32 millions de dinars Algériens.

Il serait souhaitable que la prise en compte de la solution étudiée et des recommandations émises dans ce rapport soient mises en pratique pour la maîtrise des risques au niveau des installations de la cimenterie de M'Sila.

L'application de la démarche proposée à d'autres parties de l'installation de la cimenterie voire à d'autres cimenteries pourrait faire l'objet de travaux ayant pour but la maîtrise des risques majeurs de ces sites.

RÉFÉRENCES

1. Smili, K., 2012, La prévision des ventes comme outil de support au Central Planning (Cas de Lafarge Algérie 2012), École Nationale Supérieure de Statistique et d'Économie Appliquée. Alger p. 104.
2. 442 NA, 2006, Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, Institut Algérien de Normalisation (IANOR), p. 22.
3. ARIA. accidents-cimenterie 2015, consulté le 02/05/2015; lien: <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/resultat-recherche-accident/>.
4. Cassini, P., Raffoux, J-F., Tauziède, C., 2007, L'héritage de Courrières : de la sécurité minière à la sécurité industrielle, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Centre historique minier du Nord-Pas-de-Calais, France p.188.
5. DIAPORAMA - Les catastrophes industrielles qui ont éveillé les consciences. 2011 consulté le 07/04/2015; lien: http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/environnement-thematique_191/diaporama-les-catastrophes-industrielles-qui-ont-eveille-les-consciencs-article_63614/.
6. MAGNE, L. Histoire sémantique du risque et de ses corrélats : suivre le fil d'Ariane étymologique et historique d'un mot clé du management contemporain, 15e Journées d'histoire de la comptabilité et du management (03-2010) Paris, France.
7. BSI British Standards, 2007, Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail, p. 21.
8. Margossian, N., 2006, Risques et accidents industriels majeurs, Dunod, Paris, p. 263.
9. Bernuchon, E. et Salvi O., 2003, Ω -7 : Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle. Version 1 p. 78.
10. Yves, M., 2002, Analyse préliminaire de risques. Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, base documentaire : TIB155DUO (ref. article : se4010).
11. Kélada, J., 1994, L'AMDEC, in Centre d'études en qualité totale, École des Hautes Études Commerciales, Paris.
12. Yves, M., 2005, AMDE (C), Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, base documentaire : TIB155DUO (ref. article : se4040).
13. Chorier, J., 2008, Diagnostic et évaluation des risques incendie d'une construction et de sa mise en sécurité, en Génie Civil, Université de Savoie p. 222.

14. D'Hoop, J-M., 2002, Sécurité incendie bâtiment, Techniques de l'ingénieur Risques d'incendie base documentaire : TIB583DUO (ref. article : se2050).
15. NF 62-201, 2000, Robinets d'incendie armés équipés de tuyaux semi-rigides (R.I.A.), in Matériels de lutte contre l'incendie, AFNOR, p. 21.
16. DEBAUVE, A., 1875, Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, Paris DUNOD.

ANNEXE A : TABLEAU APR

Somme N°1																		
SS	ED	SD	ENS	Causa	Conséquences	P	G	C	Measures de prévention	P'	Measures de protection	G'	C'	Interactions	RECOMMANDATION			
1	matière chaude moins de 400 °C	corrosion	fatigue de matière	vieillessement des air fits ou conduites/ usure des parois	perte de matière/ air fuites/ brulures	2	3	6	mode de vérification de l'intégrité	1		3	3					
			déformation rupture conduites	température élevée/ contact des revêtement	détérioration des équipements à proximité	1	3	3	3	rouche de béton effracture à l'intérieur des cyclones	1		3	3				
		fuite	perte de matière	ouverture d'une porte de visite	pollution importante	4	2	8	8	fermeture manuelle des portes vérification des rendants	3		2	6	6		mise en place d'une procédure d'inspection régulière (renforcement)	
			dépression	différence de pression/défaillance de ED FAN	perte d'énergie / air fuites	2	2	4	4	indicateur de pression et de température	1		2	2	2			
		incendie	contact de matière chaude avec des composant inflammables (plastics, fibres)	détérioration des équipements à proximité	4	3	12	12			4		2	8	8		système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (résidu d'eau)	
			surpression	accumulation de matière sur les parois/présence de point sensibles (clapet présence d'objet)	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement no régime	3	2	6	6	détecteur de pression rayon gamma	2		2	4	4			
		bourrage de matière	projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures/ déterioration des équipements	3	3	9	9	procédure de débouillage	2		2	4	4			
			obturation de la conduite	accumulation excessive de la matière/ présence d'un objet/ chute d'un trouage	arrêt de production	2	3	6	6		2		2	4	4			
		gaz	ATEX	explosion	défaillance de ED FAN (accumulation de gaz non brûlé / présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones/ projection de débris / incendie	3	4	12	12	analyseur de gaz au sommet de la tour	2		4	8	8		système de purge des gaz dans les situations critiques
				incendie	présence gaz naturel contenu dans les gaz chaud	détérioration des revêtement des conduites et équipements	3	3	9	9	analyseur de gaz au sommet de la tour	2		3	6	6		
2	matière chaude 400 à 500 °C	corrosion	fatigue de matière	usure des jonctions / portes de visites mal fermé ou non franchées	perte de matière/ air fuites/ brulures	2	3	6	détecteur visuelle lors des rondes	2		3	6	6		procédure d'inspection particulière avec un diagnostic (thermapis)		
			déformation rupture conduites	température élevée/ contact des revêtement	détérioration des équipements à proximité / perte de matière	1	3	3	3	rouche de béton effracture à l'intérieur des cyclones	1		3	3	3			
		fuite	perte de matière	franchée d'une porte de visite /	pollution importante	4	2	8	8	fermeture manuelle des portes vérification des rendants	3		2	6	6			
			dépression	défaillance de ED FAN (différence de pression (tirage)	perte d'énergie / air fuites	2	2	4	4	indicateur de pression et de température	1		2	2	2			
		incendie	contact de matière chaude avec des composant inflammables (plastics, fibres)	détérioration des équipements à proximité	3	4	12	12		2		2	8	8			système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (résidu d'eau)	
			surpression	accumulation de matière sur les parois/présence de point sensibles (clapet présence d'objet)	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement no régime	3	2	6	6	détecteur de pression et de température rayon gamma / air choc / opération de nettoyage	2		2	4	4			
		bourrage de matière	projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures/ déterioration des équipements	3	3	9	9	procédure de débouillage	2		2	4	4			
			obturation de la conduite	accumulation excessive de la matière	arrêt de production	3	3	9	9	opération de nettoyage	2		2	4	4			
		gaz	ATEX	explosion	défaillance de ED FAN (combustion incomplète du gaz au niveau des brûleurs/présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones/ projection de débris / incendie	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		4	4	4		
				incendie	combustion du gaz naturel contenu dans les gaz chaud	détérioration des revêtement des conduites et équipements	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		3	3	3		
3	matière chaude 500 à 700 °C	corrosion	fatigue de matière	usure des jonctions / portes de visites mal fermé ou non franchées	perte de matière/ air fuites/ brulures	3	3	9	détecteur visuelle lors des rondes	2		3	6	6				
			déformation rupture conduites	température élevée/ contact des revêtement	détérioration des équipements à proximité / perte de matière	3	3	9	9	rouche de béton effracture à l'intérieur des cyclones	2		3	6	6			
		fuite	perte de matière	franchée d'une porte de visite /	pollution importante	4	2	8	8	fermeture manuelle des portes vérification des rendants	3		2	6	6			
			dépression	défaillance de ED FAN / de pression (tirage)	perte d'énergie / air fuites	2	2	4	4	indicateur de pression et de température	1		2	2	2			
		incendie	contact de matière chaude avec des composant inflammables (plastics, fibres)	détérioration des équipements à proximité	3	4	12	12		2		2	8	8			système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (résidu d'eau)	
			surpression	accumulation de matière sur les parois/(concrétion) dilatation du clapet	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement no régime	3	2	6	6	détecteur de pression et de température rayon gamma au niveau des cônes / air choc / opération de nettoyage	2		2	4	4			
		bourrage de matière	projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures/ déterioration des équipements	3	3	9	9	procédure de débouillage	2		2	6	6			
			obturation de la conduite	accumulation excessive de la matière	arrêt de production	3	3	9	9	opération de nettoyage	2		2	4	4			
		gaz	ATEX	explosion	défaillance de ED FAN (combustion incomplète du gaz au niveau des brûleurs/présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones/ projection de débris / incendie	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		4	4	4		
				incendie	combustion du gaz naturel contenu dans les gaz chaud	détérioration des revêtement des conduites et équipements	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		3	3	3		
4	matière chaude 700 à 800 °C	corrosion	fatigue de matière	usure des jonctions / portes de visites mal fermé ou non franchées	perte de matière/ air fuites/ brulures	3	3	9	détecteur visuelle lors des rondes	2		3	6	6				
			déformation rupture conduites	température élevée/ contact des revêtement	détérioration des équipements à proximité / perte de matière	3	3	9	9	rouche de béton effracture à l'intérieur des cyclones	2		3	6	6			
		fuite	perte de matière	franchée d'une porte de visite /	pollution importante	4	2	8	8	fermeture manuelle des portes vérification des rendants	3		2	6	6			
			dépression	défaillance de ED FAN / différence de pression (tirage)	perte d'énergie / air fuites	2	2	4	4	indicateur de pression et de température	1		2	2	2			
		incendie	contact de matière chaude avec des composant inflammables (plastics, fibres)	détérioration des équipements à proximité	3	4	12	12		2		2	8	8			système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (résidu d'eau)	
			surpression	accumulation de matière sur les parois/(concrétion) dilatation du clapet	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement no régime	3	2	6	6	détecteur de pression et de température rayon gamma au niveau des cônes / air choc / opération de nettoyage	2		2	4	4			
		bourrage de matière	projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures/ déterioration des équipements	3	3	9	9	procédure de débouillage	2		2	6	6			
			obturation de la conduite	accumulation excessive de la matière	arrêt de production	3	3	9	9	opération de nettoyage	2		2	4	4			
		gaz	ATEX	explosion	défaillance de ED FAN (tirage)combustion incomplète du gaz au niveau des brûleurs/présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones/ projection de débris / incendie	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		4	4	4		
				incendie	combustion du gaz naturel contenu dans les gaz chaud	détérioration des revêtement des conduites et équipements	2	4	8	8	analyseur de gaz au niveau du cokinettes en bas de la tour	1		3	3	3		

5	matière chaude 900 à 900 °C	concrète	fonte de matière	usure des jonctions / portes de visites mal fermés ou non franches	peurs de matière / air frais / brulures	3	3	9	détection visuelle lors des rondes	2		3	6	6			
			déformation rupture conduites	température élevée / séchage des revêtements	détérioration des équipements à proximité / perte de matière	3	3	9	couche de béton effracturée à l'intérieur des caissons	2		3	6	6			
		faite	porte de matière	franchité d'une porte de visite /	pollution importante / détérioration des équipements sous effet de la température	4	3	12	fonction manuelle des portes / vérification des rondes	3		3	9	9	9	9	système de détection de température et de refroidissement (indicateur d'eau)
			dépression	défaillance de l'ID FAN (tirage/différence de pression (tirage))	peurs d'énergie / air frais	2	3	6	indicateur de pression et de température	1		3	3	3	3		
			incendie	contact de matière chaude avec des composants inflammables (plastiques, fibres)	détérioration des équipements à proximité	3	4	12	extincteurs portatifs / équipe d'intervention anti incendie	3		3	9	9	9	système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (indicateur)	
		brassage de matière	surpression	accumulation de matière sur les parois/concrètes/ dilatation du clapet	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement au hasard	4	2	8	détecteur de pression et de température / voyant gamma au niveau des cônes / air chocs / opération de nettoyage	2		2	4	4	4		
			projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures / détérioration des équipements	4	3	12	procédure de débouillage	2		3	6	6	6		
			obstruction de la conduite	accumulation excessive de la matière	usure de revêtement	3	3	9	opération de nettoyage	2		2	3	3	3		
		gaz	ATEX	explosion	défaillance de l'ID FAN (tirage) combustion incontrôlée du gaz au niveau des brûleurs/présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones / projection de débris / incendie	3	4	12	analyseur de gaz au niveau du calcinateur en bas de la tour	2		4	8	8	8	détecteurs de gaz avec des moyens d'extinction
				incendie	combustion du gaz naturel contenu dans les gaz chauds	détérioration des revêtements des conduites et équipements	3	4	12	analyseur de gaz au niveau du calcinateur en bas de la tour	2		4	8	8	8	
6	matière chaude 900 à 1000 °C	faite	déplacement de matière	franchité d'une porte de visite /	pollution importante / détérioration des équipements sous effet de la température	4	3	12	fonction manuelle des portes / vérification des rondes	3		3	9	9	9	mise en place d'une procédure d'inspection régulière des portes	
			dépression	défaillance de l'ID FAN (tirage/différence de pression (tirage))	peurs d'énergie / air frais	2	3	6	indicateur de pression et de température	1		3	3	3	3		
			incendie	contact de matière chaude avec des composants inflammables (plastiques, fibres)	détérioration des équipements à proximité	3	4	12	système de détection et alarme au niveau de la salle de contrôle	3		3	9	9	9	système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (indicateur d'eau)	
		brassage de matière	surpression	accumulation de matière sur les parois/concrètes/ dilatation du clapet	obstruction de la conduite/ perte de débit de matière/écoulement au hasard	4	2	8	détecteur de pression et de température / air chocs / opération de nettoyage	2		2	4	4	4		
			projection de matière à l'extérieur	rupture d'une porte de visite /	pollution importante / brulures / détérioration des équipements	4	3	12	procédure de débouillage	3		3	6	6	6		
			obstruction des brûleurs gaz	débit important de matière	mise de gaz dans le calcinateur/ explosion	3	4	12	nettoyage régulier 'air chocs' / ATUMAT	2		3	6	6	6		
		gaz	ATEX	explosion	mise de gaz au niveau des brûleurs/présence d'une source de détonation (étincelle, température élevée)	détérioration des cyclones / projection de débris / incendie	3	4	12	analyseur de gaz à l'entrée	2		4	8	8	8	
				incendie	combustion du gaz naturel contenu dans les gaz chauds	détérioration des revêtements des conduites et équipements	3	4	12	analyseur de gaz	2		4	8	8	8	détecteurs de gaz avec des moyens d'extinction (indicateur d'eau)
			faite	incendie	usure du joint de l'inspecteur / détérioration de la conduite arrivant gaz due à une fuite de matière chaude	flux alimenté	4	4	16	système de capteurs d'arrivées gaz équipé d'alarmation	3		4	12	12	12	

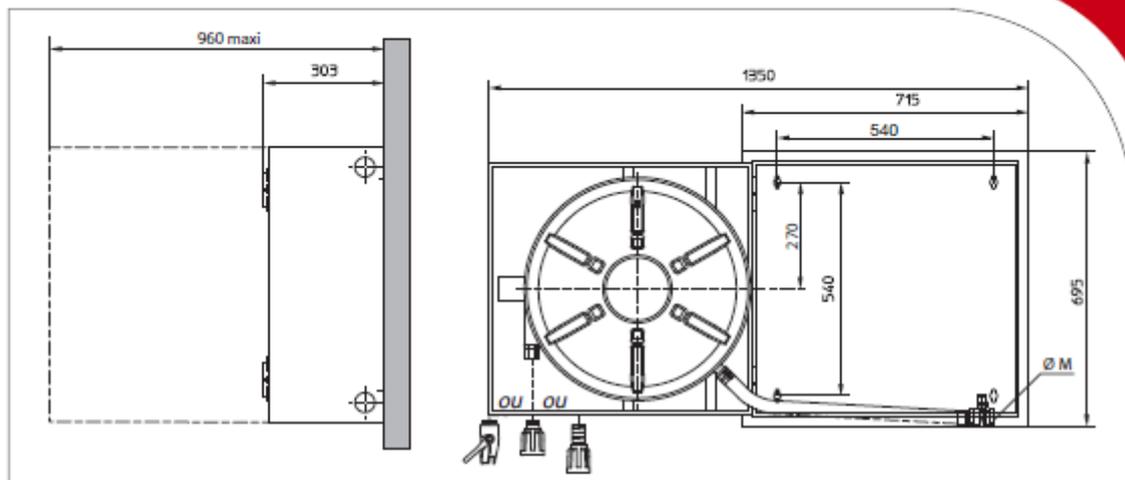
Système N°2															
SS	ED	SD	ENS	Cause	Conséquences	P	G	C	Mesures de prévention	P'	Mesures de protection	G'	C'	Intérêt/risque	RECOMMANDATION
1	maître chaude à 1400 °C	fuite	incendie	contact avec des câbles électriques / mal fermement d'une porte de visite	déterioration des équipements	3	4	12		3	plan d'intervention extincteurs	3	9	9	système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement (réservoir d'eau)
			explosion	contact avec les équipements sous pression (air choc, pompes)	déterioration du refroidisseur aggravation de la fuite de matière	2	4	8		2	plan d'intervention	3	6	6	
		formation de chaudière	bloquage du condensateur	avancée et solidification de la chaudière	arrêt de four/ détérioration du refroidisseur	4	3	12		2		3	6	6	
			accumulation près du brûleur	formation de chaudière de grand taille	perturbation de la flamme/ explosion	3	3	9	procédure de ringulage/ air choc/ étouffé	2		3	6	6	
	gaz	perturbation des courants d'air	perte de contrôle de la flamme	trébuché dans le refroidisseur/ défaillance d'un ventilateur/ Défaillance de ED FAN	explosion/ fuite de gaz dans le circuit	3	4	12	commandes automatisé/ arrêt de gaz	2		4	6	6	
			retour de flamme	défaillance de ED FAN (trébuché) / baisse de pression du gaz naturel	explosion au niveau des sorties refroidisseur	3	4	12	commandes automatisé/ arrêt de gaz	2		4	6	6	
		retour de gaz	explosion/incendie	Défaillance de ED FAN (trébuché/encrassement du brûleur/arrêt brûleur / dépression	détérioration des revêtements internes/ destruction de l'équipement	4	4	16	système de coupure de l'arrivée gaz automatisé	3		4	12	12	
2	gaz naturel	fuite	feu alimenté	détérioration d'un joint/corrosion	déclenchement d'un incendie, et propagation à l'unité de stockage d'huile	4	4	16	système de coupure de l'arrivée gaz automatisé	3	plan d'intervention et extincteurs	3	9	9	système de détection de gaz et d'extinction
			explosion	trébuché important suite à une agression extérieure	déjà important	3	4	12	système de coupure de l'arrivée gaz automatisé	2		4	6	6	
		contact	fuite	aucune isolation des conductes (flexibles)	feu alimenté	2	4	8	coupeur automatique de l'arrivée gaz	1		4	4	4	
			explosion	invasion d'eau de gaz et déchargement brusque	trébuché de feu et incendie/ projection de débris	2	4	8	coupeur manuel en bas	1		4	4	4	
		défaillance de la grappe à air primaire	arrêt du brûleur	absence d'air primaire au niveau du brûleur	arrêt de four	3	2	6	présence de deux ventilateurs d'alimentation en air primaire	2		2	4	4	
			refroidement de gaz	manque d'air de combustion	propagation du gaz au niveau du capot de chauffe et du four / explosion	2	4	8	système de coupure du brûleur	1		4	4	4	
3	huiles	fuite	incendie	trébuché des joints et conductes / inflammabilité des huiles / contact avec une source (étouffé électrique)	incendie/ évaporation des vapeurs d'huiles	3	4	12		3	extincteurs/ plan d'intervention	3	9	9	système de détection d'incendie et d'extinction et refroidissement

ANNEXE B : TABLEAU AMDEC

Système N°														
SS	Composant	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Effets	P	G	D	C	Mesures de prévention en place	P'	C'	bécherchaun	
turbine	pallier	support pour l'axe du ventilateur (deux extrémités de l'axe)	2	choc avec un élément extérieur/ pas de cache de fixation	perturber le fonctionnement de la turbine	3	3	4	36		3	36	36	
			3	déformation des joints/ déformation de la plateforme	perturber le fonctionnement de la turbine	3	3	1	9		2	9	6	6
	cônes d'admission	réception et orientation des gaz d'admission provenant de la tour	2	présence de corps solides (sable...)/ colmatage de matière	forte résistance infligée à la turbine/ casse des aubes ou d'un raccordement au moteur	3	4	1	12		2	8	8	8
			17	défaillance du réglage/ blockage mécanique	diminution vitesse et usure de la turbine	3	3	1	9		2	6	6	6
				usure des joints	température et pression des gaz	4	2	3	24		3	18	18	18
	régistre	réglage de l'admission d'air (%)	2	colmatage de matière/ présence d'un objet	manque ou pas d'admission d'air	2	3	2	12		2	12	12	12
			5	blockage mécanique/ défaillance de la commande automatique/ déviation réglage	manque ou pas d'admission d'air	2	4	3	24		2	24	24	24
			6	blockage mécanique/ défaillance de la commande automatique/ déviation réglage	manque ou pas d'admission d'air	2	4	3	24		2	24	24	24
			7	colmatage de matière/ déviation réglage	débit d'air important/ perte de contrôle de l'arrêt	2	4	2	16		2	16	16	16
			8	défaillance de la commande automatique	pas de débit d'air/ le système s'arrête	2	4	2	16		2	16	16	16
	silences (aubes)	rotation pour créer la dépression (tirage)	1	détachement des pièces de blindage/ choc thermique	perturbation du tirage/ arrêt du système	2	4	1	8		2	8	8	8
			2	présence de corps solides	déformation des aubes	3	4	2	24		2	16	16	16
	capteurs de température	indiquer la température de l'axe et de l'air ventilé	16	déformation du thermo couple/ détérioration des câbles vers la salle de contrôle	fonctionnement dans des températures dépassant les valeurs nominales de fonctionnement 350°C/ détérioration des aubes / ruptures des aubes	3	3	2	18		2	12	12	12
			16	débranchement dans la partie mécanique d'un capteur/ détérioration des câbles vers la salle de contrôle	surpression/ éclatement des conduites/ perte du contrôle du tirage	3	3	2	18		2	12	12	12
			16	usure de la partie mécanique (contact avec l'axe) /	élévation des indications de vibration (arrêt automatic système) non détection des vibrations (détérioration du système)	3	3	2	18		2	12	12	12
			1	vibrations/ température	fuites de matière/ perte de pression	3	3	4	36		2	24	24	24
				détachement à l'intérieur	vibrations/ température	rupture des aubes/ blockage des conduites/ arrêt du système	1	3	4	12		1	12	12
	accouplement	transmettre la puissance de l'arbre du moteur vers turbine	2	ajustement d'un élément externe / pas de cache ou mauvais ajustement	Détérioration du composant/ perturbation de la transmission/ vibration	3	4	3	36		2	24	24	24
3			modification de l'orientation / manchons usés, pas d'arrosissement	forte résistance infligée au moteur/ détérioration de la turbine	3	3	1	9		3	9	9	9	
			usure	vibrations	déformation de l'arbre/ perturbation de la rotation de la turbine	2	3	3	18		2	18	18	18
disques de refroidissement	refroidissement des palliers de la turbine	4	mauvais fixation lors du remplacement	déformation de l'arbre/ perturbation de la rotation de la turbine	2	3	3	18		2	18	18	18	
moteur	vitesse de vitesse	gérer la vitesse du moteur	(1,2,3,4)	chute de tension/ défaillance de l'alimentation de refroidissement	arrêt du moteur donc du système	2	3	1	6		2	6	6	6
			1 (cassure des barres motrices)	élévation de température	arrêt du moteur donc du système	1	3	3	9		1	9	9	9
	rotor/stator	excitation de l'arbre de transmission/ convection de l'énergie électrique en énergie de rotation	3	usure du joint rotorique/ colmatage de matière au niveau de la turbine	arrêt du moteur donc du système	3	3	1	9		2	6	6	6
			4	chute de tension/ court circuit	arrêt du moteur donc du système	2	3	2	12		2	12	12	12
	ventilateur de refroidissement	assurer le refroidissement du boîtier du stator et le rotor	2	usure/ manque de graissage	fatigue du moteur/ déformation de l'arbre	3	2	2	12		2	8	8	8
	capteurs de température	indiquer la température des palliers, bobinage,	16	déformation du thermo couple/ détérioration des câbles vers la salle de contrôle	fonctionnement dans des températures dépassant les valeurs nominales de fonctionnement / rupture des joints rotoriques	3	3	2	18		2	12	12	12
			16	débranchement dans la partie mécanique d'un capteur/ détérioration des câbles vers la salle de contrôle	fuites d'huile/ détérioration du moteur	3	3	2	18		2	12	12	12
	capteurs de pression	indication de pression	16	débranchement dans la partie mécanique d'un capteur/ détérioration des câbles vers la salle de contrôle	fuites d'huile/ détérioration du moteur	3	3	2	18		2	12	12	12
			16	usure de la partie mécanique	élévation des indications de vibration (arrêt automatic système) non détection des vibrations (détérioration du système)	3	3	2	18		2	12	12	12
arrêt d'urgence	couper l'alimentation manuellement en cas d'anomalie	2	blockage due à l'accumulation de matière/ pas de protections	le moteur ne s'arrête pas	3	4	3	36		3	36	36	36	
		19	défaillance de la commande d'arrêt	le moteur ne s'arrête pas	2	3	3	18		2	18	18	18	

ANNEXE C : RIA

FICHE TECHNIQUE

ROBINETS D'INCENDIE ARMES
EN COFFRET EURC

● DESCRIPTION

Un Robinet d'Incendie Armé (R.I.A) est un équipement de première intervention, alimenté en permanence en eau, permettant à toute personne non spécialisée, d'agir immédiatement et efficacement sur un début d'incendie, afin d'en limiter l'extension en attendant, si cela est nécessaire, que des moyens plus puissants soient mis en œuvre.

● PERFORMANCES

	DN 19/6	DN 25/8	
- Pressions (MPa)			
• Minimale de fonctionnement (PF)	0,25	0,25	
• Maximale de service (PMS)	1,20	1,20	
- Débits en jet droit à 0,6 MPa à l'entrée du RIA (l/mn)	43	Europons 70	Hugjet 70
- Portées efficaces (mètres) à 0,2 MPa			
• En jet droit	10	10	12

● CARACTERISTIQUES

Diamètre Nominal	Longueur du tuyau	Ø M (FF)	Codes articles			Poids bruts (Kg)
			Diffuseur serré Europons	Diffuseur vissé Europons	Diffuseur vissé Hugjet	
19	20 m	G 3/4	3286.912	3286.912V	-	43,000
19	30 m	G 3/4	3286.913	3286.913V	-	48,000
25	20 m	G 1	3286.922	3286.922V	3282.922	47,000
25	30 m	G 1	3286.923	3286.923V	3282.923	57,000

NOTA: Les gravures et schémas représentés sur le présent document n'ont qu'une valeur indicative et ne nous sont donc pas opposables. Nous nous réservons le droit d'effectuer des modifications à tout moment sans qu'il puisse nous en être tenu rigueur sous quelque forme que ce soit.

● REGLEMENTATION

Les R.I.A. sont conformes aux normes :

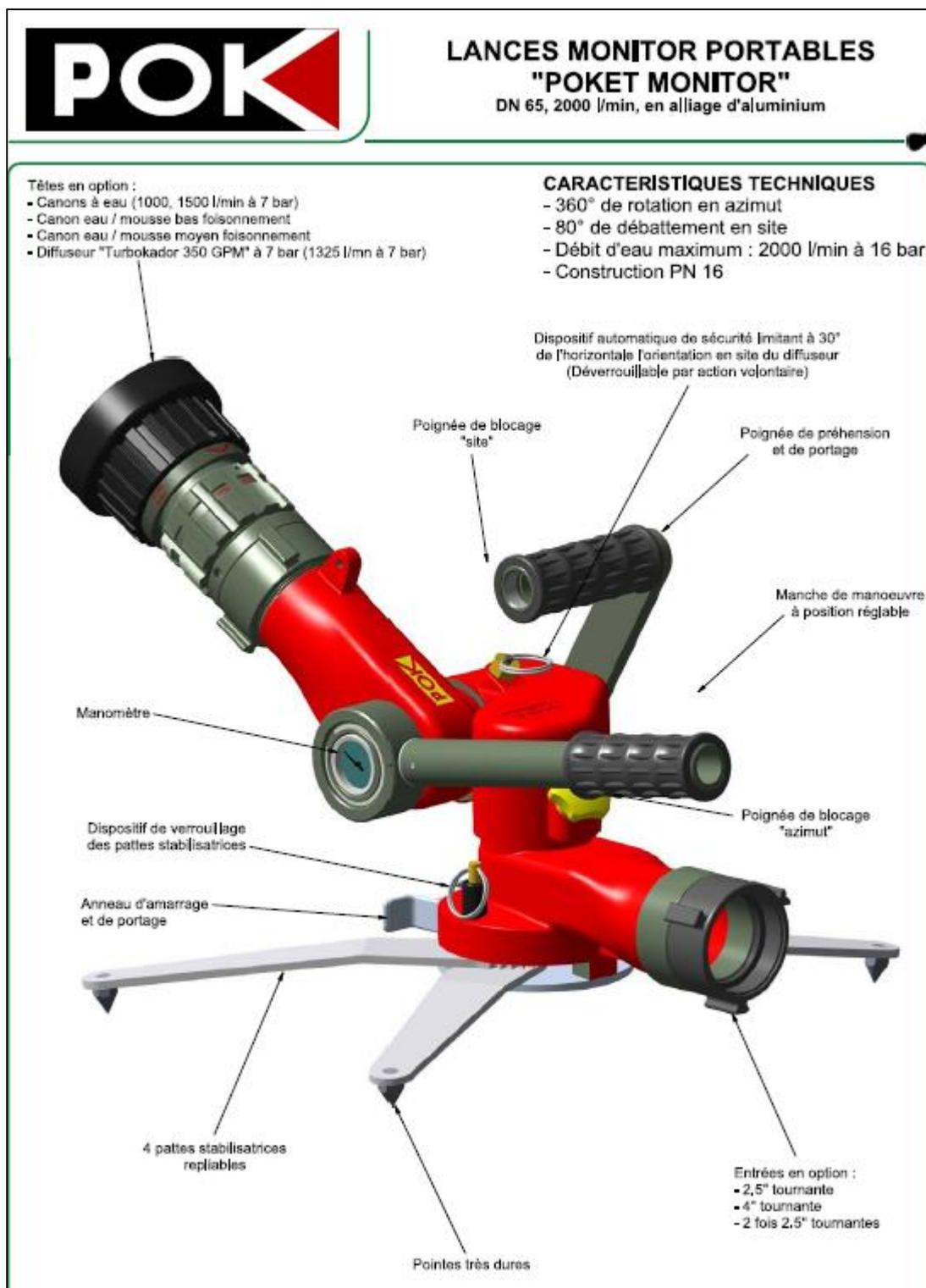


- EN 671.1 Installations fixes de lutte contre l'incendie. Systèmes équipés de tuyaux. Robinets d'incendie Armés équipés de tuyaux semi-rigides.
- EN 694 Tuyaux semi-rigides pour Robinets d'Incendie Armés.
- NF S 62.201 Robinets d'incendie Armés équipés de tuyaux semi-rigides. Règles d'installation et de maintenance de l'installation.

Le marquage CE atteste de la conformité du produit aux articles concernant les dispositions de la Directive européenne des Produits de Construction (89/106/CEE) figurant à l'annexe ZA de la norme EN 671-1.

L'estampille NF apposée sur le RIA garantit sa conformité aux caractéristiques certifiées NF, grâce à un système qualité et à la surveillance régulière du constructeur par un organisme agréé.

ANNEXE D : Lance à incendie



ANNEXE E : Poteau à incendie

PFA 16 bar. Poteau d'incendie à prises apparentes.
Raccords symétriques suivant norme NF S 61-703.
Culot droit orientable à 360°.
Bride de raccordement perçage suivant norme EN 1092-2 : ISO PN 10/16

Utilisation:

Eau potable et liquides non agressifs
 et non chargés
 Température maximum 70°C

Épreuves :

Épreuve hydraulique suivant norme
 EN1074-1 :

Siège : 18 bar
 Corps : 25 bar

Particularité technique :

Caractéristiques hydrauliques:
 Kv sur demande.

Options:

- Autres raccords de sortie

Réglementation:

Tous les matériaux en contact avec
 l'eau destinée à la consommation
 humaine sont certifiés conformes à
 l'arrêté du 29 mai 1997.
 ACS accessoire

Matériaux:

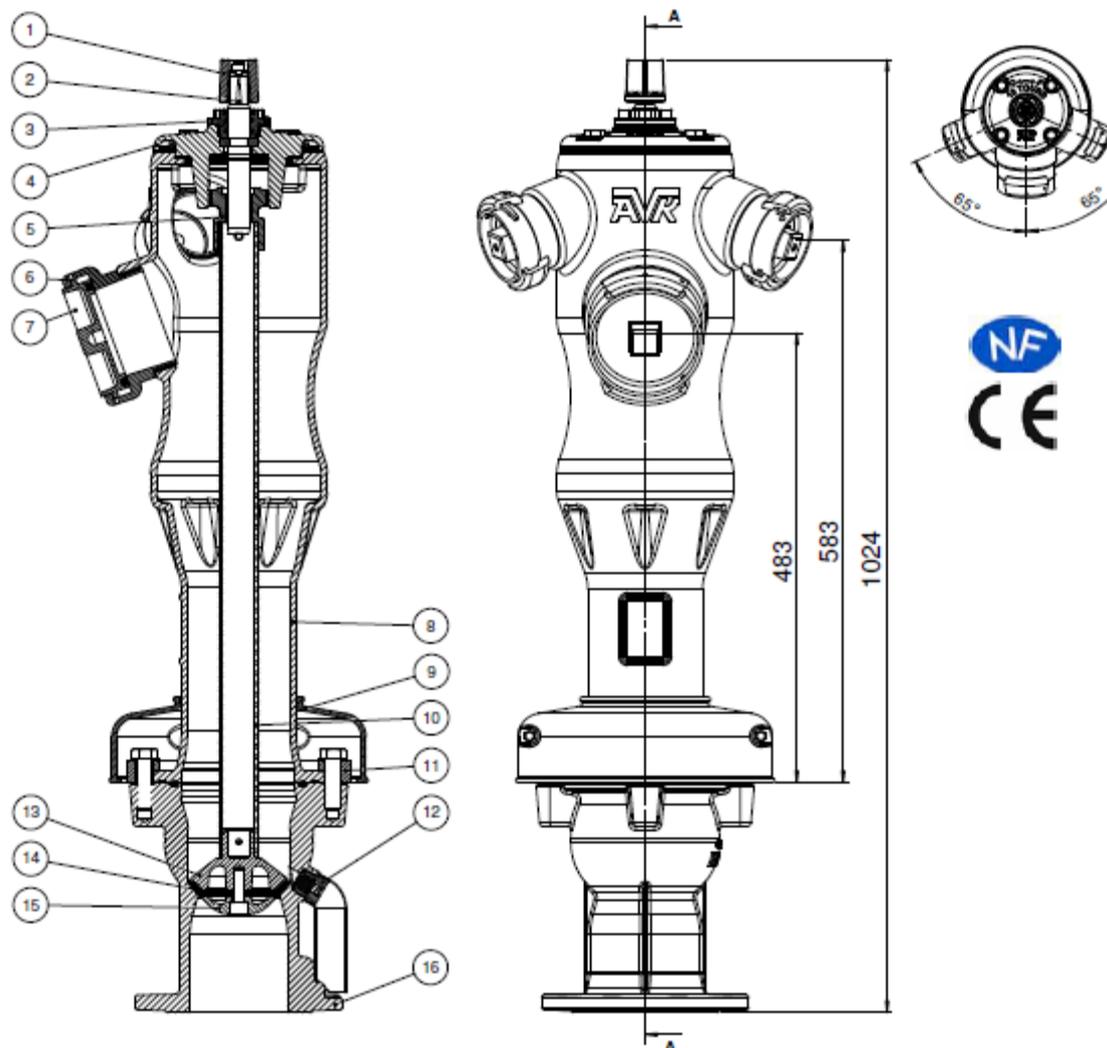
Anti bélier, 1/2 enjoliveurs, fût, culot, couvercle, carré, porte clapet, 1/2 bride folles.	Fonte à graphite sphéroïdal EN GJS 500-7 suivant EN 1563
Raccords, bouchons.	Cupro-aluminium
Purge à bille, écrou garniture, rondelles, écrou de manoeuvre.	Laiton suivant EN 12164
Tube de manoeuvre	Acier galva suivant EN 10255/10540-A1
Boulons, vis, rondelles.	Inox A2
Chalnette	Inox 304L
Joints d'étanchéité, clapet	Caoutchouc qualité EPDM
Vis de manoeuvre	Acier Inox suivant EN 10088-1
Revêtement :	
Epoxy (intérieur et extérieur) :	Culot, porte clapet, 1/2 brides folles, anti bélier.
Polyester :	Fût, raccords, bouchons, carré de manoeuvre, couvercle et 1/2 enjoliveurs.



PFA 16 bar. Poteau d'incendie à prises apparentes.
Raccords symétriques suivant norme NF S 61-703.
Culot droit orientable à 360°.
Bride de raccordement perçage suivant norme EN 1092-2 : ISO PN 10/16

Tableau des composants

1- Carré de manœuvre	7- Bouchon	13- Porte clapet
2- Vis de manœuvre	8- Fût	14- Clapet
3- Ecrou de garniture	9- 1/2 enjoliveur	15- Anti bélièr
4- Couvercle	10- Tube de manœuvre	16- Culot
5- Ecrou de manœuvre	11- 1/2 brides folles	
6- Raccord	12- Purge à bille	



AVK Réf.	DN	Raccords		H mm	C mm	Poids Kg
		Central DN	Lateral DN			
781007190981	100	DN100	2 DN65	1024	13	46

ANNEXE F : Courbes du constructeur des pompes

