

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE - GRI

Mémoire de
Post-Graduation Spécialisée
En
QHSE - GRI

**Analyse et Maîtrise des Risques Associés à la Perte de Flamme
et au Ratage d'Allumage dans le Four lors de la fabrication du Ciment**

Cas de : LAFARGE Ciment de M'sila, Algérie

Ahmed Lamine CHIKOUCHE

Présenté et soutenu publiquement le : 29/04/2018

Composition du Jury :

Président :	M ^f . Bouzid BENKOUSSAS	Professeur, ENP
Rapporteur :	M ^f . Amine BENMOKHTAR	Maître assistant ENP
Examineur :	M ^f . Abdelmalek CHERGUI	Professeur, ENP
Invité :	M ^f . Farid NECHAB	Directeur Prévention, DGPC
	M ^f . Nadir BELAKROUM	Chef Bureau RI, DGPC

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière : QHSE - GRI

Mémoire de
Post-Graduation Spécialisée
En
QHSE - GRI

**Analyse et Maîtrise des Risques Associés à la Perte de Flamme
et au Ratage d'Allumage dans le Four lors de la fabrication du Ciment**
Cas de : LAFARGE Ciment de M'sila, Algérie

Ahmed Lamine CHIKOUCHE

Présenté et soutenu publiquement le : 29/04/2018

Composition du Jury :

Président :	M ^f . Bouzid BENKOUSSAS	Professeur, ENP
Rapporteur :	M ^f . Amine BENMOKHTAR	Maître assistant ENP
Examineur :	M ^f . Abdelmalek CHERGUI	Professeur, ENP
Invité :	M ^f . Farid NECHAB	Directeur Prévention, DGPC
	M ^f . Nadir BELAKROUM	Chef Bureau RI, DGPC

ملخص

الدافع الأساسي لهذا 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 خمسة أجزاء. الجزء الأول يتعلق بسياق المشروع من خلال لمحة عامة عن عملية تصنيع الإسمنت في المصنع ومراجعة الحوادث في جميع أنحاء العالم و على مستوى المصنع، وأخيرا المنهجية المعتمدة لإجراء هذا المشروع. الجزء الثاني يعرض مختلف طرق تحليل الأخطار المطبقة. الجزء الثالث يعرض الخطوات التي اتخذت لإجراء تحليل المخاطر استنادا على استخدام، تحليل أولي للمخاطر، تحليل عن طريق شجرة القصور، شجرة الأحداث و عقدة الفراشة، كما يحدد العناصر والنتائج التي اتخذت بعين الاعتبار عند تطبيق هذه الأساليب. الجزء الرابع تمت محاكات عدة سيناريوهات الأكثر أهمية لانفجار باستخدام برنامج فاست. الجزء الأخير، اقتراح تدابير التحكم على مستوى المنطقة محل الدراسة، وهذا لمعالجة أوجه القصور التي لوحظت في وسائل الوقاية و الحماية المتوفرة.

الكلمات الأساسية : أسمنت، تحليل المخاطر، تلاشي التوهج ، ضياع الإشعال.

ABSTRACT

The present work aims at mastering the major technological risks at the M'sila cement plant. To do this, the work has been divided into five parts. The first deals with the contextualization of the project through an overview of the cement manufacturing process at the cement plant, a review of accidents occurring around the world and on the site and finally the approach adopted for the conduct of this project.

The second part describes the different methods of risk analysis applied.

The third part, expresses the approach undertaken for the conduct of the risk analysis based on the use of, the Preliminary Risk Analysis (PRA), the Analysis of the Failure Tree (AFT), the Analysis by the Tree of Events (ATE) and the Butterfly Node. It also sets out the elements and results retained when applying these methods.

The fourth part, the use of the PHAST software for several simulation of the explosion effects,

In the last part, mastering actions were proposed at the level of the area targeted by the study, to remedy the deficiencies noticed in the means of preventions and protections.

Key words: Cement plant, Risk Analysis, flame loss, ignition failure.

RÉSUMÉ

Le présent travail a pour objectif la maîtrise des risques technologiques majeurs au niveau de la cimenterie de M'Sila. Pour ce faire, le travail a été divisé en cinq parties. La première partie 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 la démarche adoptée pour la conduite de ce projet.

La seconde partie, expose les différentes méthodes d'analyse des risques appliquées.

La troisième partie, exprime la démarche entreprise pour la conduite de l'analyse des risques reposant sur l'utilisation de, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR), l'Analyse par l'Arbre de Défaillance (AdD), l'Analyse par l'Arbre des Evènements (AdE) et le Nœud de Papillon. Elle expose également les éléments et les résultats retenus lors de l'application de ces méthodes.

La quatrième partie concerne l'utilisation du logiciel PHAST pour déroulé plusieurs simulations des effets d'explosion,

Dans la dernière partie, des actions de maîtrise ont été proposés au niveau de la zone ciblée par l'étude, pour remédier aux carences remarquées au niveau des moyens de préventions et de protections.

Mots-clés : Cimenterie, Analyse des risques, Perte de flamme, Ratage d'allumage.

DÉDICACE

A la mémoire de ma mère,

A mon père,

A celle qui m'est la plus chère,

A mes enfants,

A toute ma famille,

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 Benmokhtar .A, Maître-Assistant à l'ENP pour sa disponibilité, sa présence et ses conseils qui ont contribué à l'exceptionnel encadrement dont j'ai eu l'occasion de bénéficier.

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

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.

A Mr Boughazi .A, Mr Doghdogh .A et Mr Moussa. Respectivement « Manager procès », « Responsable de procès » et « Manager production » à l'usine de M'sila pour m'avoir accordé toute leur attention et de m'avoir orienté dans mon travail.

A Mr le directeur général de la protection civile, pour m'avoir donné la chance de suivre cette formation, et a Mr le directeur de la protection civile de M'sila pour m'aider à conduire au mieux mon projet.

A M^r BENKOUSSAS .B, Professeur à l'ENP, en qualité de président du jury, M^r CHERGUI .A, Professeur à l'ENP en tant qu'examineur, M^r NECHAB .F, Directeur de Prévention a la DGPC, M^r BELAKROUM .N, Chef de Bureau des Risques Industriels a la DGPC en tant qu'invités pour l'effort prodigué afin de corriger et d'apporter la touche finale au projet.

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

Et enfin, j'adresse spécialement mes remerciements à M^r. Redha, ainsi que 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.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE I CONTEXTE GÉNÉRAL, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE	14
1.1 Mise en contexte et accidents dans l'industrie du ciment	14
1.2 Problématique	15
1.3 Objectifs de l'étude	16
1.4 Démarche méthodologique	16
1.5 Présentation du groupe LAFARGE	17
1.5.1 Présentation de LAFARGE-ALGERIE	18
1.5.2 Fusion de Lafarge et Holcim (GLH)	21
1.6 Usine LAFARGE de M'sila – hammam dalaa	21
1.6.1 Situation géographique et accessibilité	22
1.6.2 Activité	22
1.6.3 Organigramme du GL à M'sila	23
1.6.4 Description des activités de la cimenterie de M'sila	23
1.6.4.1 Ciment	23
1.6.4.2 Procédé de fabrication du ciment	24
1.6.4.3 Équipement de l'atelier de cuisson	29
1.6.4.4 Types de ciment fabriqués	31
1.6.4.5 Différentes voies de fabrication du ciment	32
1.6.4.6 Norme Algérienne du ciment	32
CHAPITRE II METHODES ET OUTILS D'ANALYSE DES RISQUES	35
2.1 Règlementation de la maîtrise des risques industriels	35
2.1.1 Législation algérienne	35
2.1.2 Cadre légal	35
2.2 Notions préliminaire et définitions	38
2.2.1 Notions de risque	38
2.2.2 Principe de la gestion des risques	39
2.2.2.1 Analyse des risques	40
2.2.2.2 Évaluation des risques	40
2.2.2.3 Réduction du risque	42
2.3 Méthodes d'analyse des risques	42
2.3.1 Présentation des méthodes d'analyse de risques	42
2.3.1.1 Analyse préliminaire des risques (APR)	43
2.3.1.2 Arbre des défaillances (ADD)	48
2.3.1.3 Arbre des événements (ADE)	53
2.3.1.4 Nœud papillon	55
2.3.2 Analyse fonctionnelle	57
2.3.2.1 Méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique)	57
CHAPITRE III APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES	61
3.1 Analyse préliminaire des risques (APR)	61
3.2 Identification des systèmes	61
3.2.1 Analyse fonctionnelle par la méthode SADT	62

3.2.1.1 Commentaires sur la décomposition fonctionnelle.....	72
3.2.2 Découpage fonctionnelle.....	72
3.2.2.1 Sous-Système N°1 : Préchauffage	74
3.2.2.2 Sous-Système N°2 : Four de cuisson	79
3.2.2.3 Sous-Système N°3 : Refroidissement	82
3.2.2.4 Sous-Système N°4 : Ventilateur « ID FAN »	85
3.2.2.5 Sous-Système N°5 : Ventilateurs « EP FAN 200 et 600 »	86
3.3 Application de la méthode APR	87
3.3.1 Critère d'évaluation de la criticité.....	87
3.4 Application de la méthode ADD	90
3.5 Application de la méthode ADE	93
3.5.1 Définition des ER à considérer	94
3.5.2 Identification des barrières de protection et leurs probabilités de défaillances	94
3.5.3 Construction de l'arbre	94
3.6 Identifications des scénarios d'accidents.....	96
3.6.1 Représentation des scénarios d'accidents.....	97
CHAPITRE IV : SIMULATION DES PHENOMENES DANGEREUX PAR PHAST.....	99
4.1 Simulation de l'explosion.....	99
4.1.1 Description du phénomène « Explosion »	99
4.1.2 Effets des explosions	100
4.1.3 Modèle de l'équivalent TNT.....	100
4.2 Application et calcul des effets de l'explosion par PHAST	102
4.2.1 Présentation du logiciel de simulation PHAST.....	102
4.2.2 Masse du méthane (CH ₄).....	102
4.2.3 Calcul de la masse de TNT pour les scénarios retenue.....	103
4.2.4 Application sur le logiciel PHAST	104
CHAPITRE V : ACTIONS DE MAITRISE DES RISQUES.....	112
5.1 Maitrise des risques.....	112
5.1.1 Importance des actions de maitrise dans la production.....	113
5.1.2 Aspects des barrières de sécurité.....	113
5.1.2.1 Aspect technique.....	113
5.1.2.2 Aspect organisationnel.....	114
5.1.3 Suivi et révision.....	115
5.2 Application et proposition des actions de maitrise des risques.....	115
5.2.1 Sur le plan de prévention	116
5.2.2 Sur le plan de protection	116
CONCLUSION GENERALE.....	118
REFERENCES DIBLIOGRAPHIQUES.....	121
ANNEXE A.....	123
ANNEXE B.....	139
ANNEXE C.....	142

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Démarche d'analyse des risques technologiques majeurs.....	17
Figure 1.2 : Cimenterie de M'sila - Hammam Dalaa.....	21
Figure 1.3 : Situation géographique de la cimenterie de M'sila.....	22
Figure 1.4 : Organigramme du GL de M'sila.....	23
Figure 1.5 : Les composants du ciment.....	24
Figure 1.6 : Processus de fabrication du ciment.....	25
Figure 1.7 : Organigramme du processus de fabrication du ciment.....	26
Figure 1.8 : Exploitation de la carrière de LAFARGE de M'sila.....	27
Figure 1.9 : Cuisson de la farine dans un four.....	28
Figure 2.1 : Processus de la gestion des risques.....	41
Figure 2.2 : Principes de la méthode APR.....	44
Figure 2.3 : Déroulement de la méthode APR.....	47
Figure 2.4 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre de défaillance.....	51
Figure 2.5 : Exemple d'arbre des défaillances.....	52
Figure 2.6 : Structure d'un arbre d'évènement.....	54
Figure 2.7 : Scénario d'accident représenté en model nœud papillon.....	55
Figure 2.8 : Boîte utilisée par SADT.....	59
Figure 2.9 : Diagramme type SADT avec détail sur le niveau inférieur.....	59
Figure 3.1 : Modèle SADT de la fabrication du ciment.....	64
Figure 3.2 : Modèle SADT détaillé de la fabrication de ciment.....	65
Figure 3.3 : Modèle SADT détaillé de la préparation de cru.....	66
Figure 3.4 : Modèle SADT détaillé de la cuisson de farine.....	67
Figure 3.5 : Modèle SADT détaillé de la production du ciment.....	68
Figure 3.6 : Modèle SADT détaillé de préchauffage de la farine.....	69
Figure 3.7 : Modèle SADT détaillé de la cuisson de farine.....	70
Figure 3.8 : Modèle SADT détaillé du refroidissement du clinker.....	71
Figure 3.9 : Schéma des sous-systèmes composant la ligne de cuisson et ventilateurs de tirage....	73
Figure 3.10 : Tour de préchauffage	74
Figure 3.11 : Cyclone.....	75
Figure 3.12 : Clapet papillon.....	76
Figure 3-13 : Précalcinateur.....	76
Figure 3.14 : Matériel de mesure (thermocouple et manomètre)	77
Figure 3.15 : Disposition des air-chocs au niveau du calcinateur.....	77

Figure 3.16 : Composant de la tour de préchauffage.....	78
Figure 3.17 : Four rotatif	79
Figure 3.18 : Alimentation en air et gaz au bruleur.....	81
Figure 3.19 : Schéma de la tuyère.....	81
Figure 3.20 : Refroidisseur à grilles mobiles.....	83
Figure 3.21 : Pompes à huile.....	83
Figure 3.22 : Composant du sous-système refroidissement.....	84
Figure 3.23 : Vue de l'extérieure de L'ID-FAN.....	85
Figure 3.24 : Schéma des sous-systèmes composant l'ID FAN.....	86
Figure 3.25 : Répartition des ER en fonction de leurs classifications de la ligne de cuisson.....	88
Figure 3.26 : Démarche de l'analyse ADE.....	93
Figure 4.1 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance.....	106
Figure 4.2 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST.....	106
Figure 4.3 : Cartographie des effets de la surpression de TNT.....	106
Figure 4.4 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance.....	107
Figure 4.5 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST.....	107
Figure 4.6 : Cartographie des effets de la surpression de TNT.....	107
Figure 4.7 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance.....	108
Figure 4.8 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST.....	108
Figure 4.9 : Cartographie des effets de la surpression de TNT.....	108
Figure B.1 : Schéma fluide du portique gaz.....	140
Figure B.2 : Schéma fluide de la tuyère.....	141
Figure C.1 : AdD de l'ER1 « perte de la flamme dans le four »	143
Figure C.2 : AdD de l'ER2 « ratage d'allumage dans le four ».....	144
Figure C.3 : AdE de l'ER1 « perte de flamme dans le four »	145
Figure C.4 : AdE de l'ER2 « ratage d'allumage dans le four »	146
Figure C.5 : Scénario N°1 d'explosion suite à la perte de flamme dans le four.	147
Figure C.6 : Scénario N°2 d'explosion suite au ratage d'allumage dans l'allumeur.	148
Figure C.7 : Scénario N°3 d'explosion suite au ratage d'allumage dans le bruleur.	149

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Réalisations du GL en Algérie.....	19
Tableau 1.2 : Activités et différents cimenterie du GL en Algérie.....	20
Tableau 1.3 : Équipements de la ligne de cuisson.....	29
Tableau 1.4 : Types de ciments courants et leur composition.....	32
Tableau 1.5 : Classe des résistances de ciment.....	33
Tableau 2.1 : Tableau type du déploiement de l'APR.....	48
Tableau 2.2 : Légende des événements du modèle nœud de papillon.....	56
Tableau 3.1 : Pourcentages de chaque niveau de risque.....	88
Tableau 3.2 : Synthèse de l'APR.....	89
Tableau 3-3 : Probabilité de défaillance des équipements.....	92
Tableau 3.4 : Probabilité de défaillance des barrières de prévention.....	92
Tableau 3.5 : Synthèse de probabilité des deux ER.....	92
Tableau 3.6 : Probabilités de défaillance des Barrières de protection.....	94
Tableau 3.7 : Probabilités de défaillance des Barrières de protection.....	95
Tableau 3.8 : Scénarios d'accidents retenus.....	96
Tableau 3.9 : Fréquences des scénarios d'accidents retenus.....	97
Tableau 4.1 : Seuils des effets de surpression.....	100
Tableau 4.2 : Scénarios d'explosion retenu.....	103
Tableau 4.3 : Synthèse de masse des scénarios.....	104
Tableau 4.4 : Données utilisé pour le logiciel PHAST.....	104
Tableau 4.5 : Valeurs de surpression en fonction de la distance par PHAST.....	105
Tableau 4.6 : Valeurs des distances pour les seuils de surpression de référence par PHAST.....	105
Tableau A.1 : Échelle de gravité.....	124
Tableau A.2 : Échelle de probabilité.....	124
Tableau A.3 : Matrice de criticité.....	125
Tableau A.4 : Niveau de risque.....	125
Tableau A.5 : Analyse préliminaire des risques appliquée à la ligne de cuisson.....	126

ABREVIATIONS

HSE	Hygiène, sécurité et environnement
GL	Groupe LAFARGE
GLH	Groupe LAFARGE-HOLCIM
SADT	Structured Analysis and Design Technique
APR	Analyse Préliminaire des Risques
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ADD	Arbre de Défaillances
ADE	Arbre d'Evènement
ER	Evènement redouté
ERC	Evènement redouté central
Ei	Evènement indésirable
PF	Perte de flamme
RA	Ratage d'allumage
PhD	Phénomène dangereux
EB	Événement de base
EI	Événement initiateur
EM	Événement majeur
ERS	Événement redouté secondaire
SIF	Safety Instrumented Function (fonctions instrumentées de sécurité)
SIL	Safety Integrity Level (niveau d'intégrité du système)
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
TNT	Tri Nitro Toluène
PPI	Plan particulier d'intervention
PII	Plan Interne d'Intervention
EDD	Etude de danger
P	Probabilité
G	Gravité
F	Fréquence
C	Criticité
OREDA	Offshore Reliability Data Handbook
ENS	Evènement non souhaité

INTRODUCTION GENERALE

Le fonctionnement des installations industrielles peut être mis en défaut par des évènements redoutés qui mènent vers des risques tels que les explosions et les incendies. Il est bien connu que les activités industrielles au sens large engendrent des impacts multiples, que ce soit sur l'environnement, la santé humaine ainsi que la sécurité des personnes et des biens.

Les industries déploient beaucoup d'efforts pour éviter les accidents. Malgré ces efforts, de nombreux accidents se produisent toujours dans le monde et causent des dégâts sur les plans ; humains et matériel. La fréquence de ces accidents conduit à des études d'analyse et de maîtrise des risques majeurs.

En effet, l'industrie cimentière est fortement présente, elle est devenue l'une des activités industrielles la mieux structurée et la mieux répartie au monde. Elle réalise une valeur ajoutée importante au secteur « matériaux de construction » [1]. D'autre part, l'économie de marché mondial astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la suite de leurs activités. Ceci implique en partie de développer le processus de production vers la performance et la réduction des coûts tout en respectant le volet environnemental concernant les émissions des gaz à effet de serre.

L'étude des accidents survenus a pour objectif de préparer les analyses de risque liées aux opérations. Elle permet de cerner précisément les conséquences des défaillances étudiées. Bien que les systèmes de sécurité installés sur les équipements contribuent à diminuer les probabilités, des accidents sont déjà survenus par le passé. Les accidents les plus récents liés aux installations similaires comme les cimenteries, sont répertoriés à partir de la base de données ARIA du bureau d'analyse des risques et des pollutions industrielles.

Un certain nombre d'incendies et d'explosions sont déjà survenus dans des fours rotatifs. Principalement dans les industries de ciment, la plupart d'entre eux sont liés à l'utilisation du gaz et ont pour cause :

- Une procédure d'allumage inadaptée
- Une perte de flamme suivie d'une accumulation de gaz dans le four.
- Une combustion incomplète en raison d'un mélange air / combustible inadéquat.

-Un résidu d'imbrulés confinés dans le préchauffeur à cyclones.

L'Algérie est devenu un centre d'importants investissements industriels, plusieurs infrastructures ont vu le jour sur le territoire national, des projets ont été inaugurés ces dernières années et d'autres sont en cours de réalisation, d'où la forte demande du ciment.

L'industrie du ciment connaît un grand essor dans le monde et particulièrement en Algérie, parmi les groupes investissent en Algérie en trouve le Groupe Lafarge-Holcim qui est le leader mondial dans son secteur des matériaux de construction « ciment, granulats et béton » et particulièrement le premier en investissement hors hydrocarbure, ambitionne de réduire de 50% les importations Algérienne annuelles en ciment [26].

Le présent projet a pour objectif l'analyse et la maîtrise des risques associées aux deux évènements redoutés perte de flamme et ratage d'allumage dans le four de cuisson au niveau de la cimenterie de M'sila. Pour ce faire, le travail a été divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre 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.

Le second chapitre, expose les différentes méthodes d'analyse des risques appliquée.

Le troisième chapitre exprime la démarche entreprise pour la conduite de l'analyse des risques par l'application de l'APR, ADD, ADE et Nœud de papillon d'une part et des éléments de la décomposition fonctionnelle par l'approche SADT (Structured Analysis and Design Technique) d'autre part. Il expose également les éléments et les résultats retenus lors de l'application de ces méthodes.

Le quatrième chapitre sera réservé pour la modélisation et simulation des effets du phénomène dangereux d'explosion par l'utilisation du logiciel PHAST,

Enfin, le dernier chapitre sera dédié aux actions de maîtrise proposé au niveau de la zone ciblée par l'étude, pour remédier aux carences remarquées au niveau des moyens de préventions et de protections.

Chapitre I

*CONTEXTE GÉNÉRAL,
PROBLÉMATIQUE ET
MÉTHODOLOGIE*

Chapitre I CONTEXTE GÉNÉRAL, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente une mise en contexte du projet concernant l'analyse et maîtrise des risques associées à la perte de flamme et au ratage d'allumage dans le four, effectué au niveau de la cimenterie LAFARGE de M'sila, nous avons mis en revue quelques accidents survenus dans des cimenteries à travers le monde et en Algérie. Ensuite, nous avons formulé la problématique et présenté la méthodologie suivie entre autre pour le déroulement de notre projet dans le but d'apporter quelques éléments de réponse à celle-ci. Pour ce faire, nous avons tout d'abord présenté le groupe Lafarge, son historique et ces activités en Algérie, sa présence à travers l'usine de M'sila, ainsi les procédés de fabrication du ciment utilisé par ce groupe dans cette usine.

1.1 Mise en contexte et accidents dans l'industrie du ciment

Le retour d'expérience est d'un apport considérable dans une demande de sécurité. La collecte des informations des accidents ayant déjà lieu dans des industries pareilles nous donne une idée sur les problèmes majeur de ces industries. Une synthèse crédible et objective des informations permet d'orienter notre étude vers les principaux problèmes. Aussi, nous citons dans ce qui suit des exemples d'accidents survenus sur des installations similaires cités dans les différentes bases de données :

-La cimenterie SAINT-EGREVE en France, le 11 juin 1997. Avant le redémarrage de la production dans la cimenterie, une explosion soulève à 18 h les toits de 2 des 4 cyclones du circuit de séchage du cru alimentant un four de cuisson en phase de préchauffage au gaz naturel (200 m³/h). Ce qui a entraîné la projection du réfractaire dans un rayon de 20 m. Le circuit était traversé à contre-courant par les gaz chauds issus du four (procédure utilisée depuis plusieurs années sans incident). Plusieurs extinctions de la flamme avant l'explosion ont favorisé la formation de poches de gaz dans la partie supérieure des cyclones insuffisamment balayés à l'air. L'installation est arrêtée 10 jours (toits des cyclones à remplacer, etc.). Les dommages sont évalués à 0,9 million de Franc [29].

-La cimenterie « *Meftah* » en Algérie, le 17 novembre 2009 à 22h, une explosion due à une accumulation de gaz au niveau de la tour de cyclones, située dans la tour de préchauffage.

Cette heure tardive a fait qu'aucune perte humaine ni même de blessures n'ont été enregistrées même si des dégâts matériels ont été enregistrés, ce qui a conduit à l'arrêt du four [26].

-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.

A la fin, nous constatons que selon les exemples cités précédemment que les accidents sont survenus dans la zone de cuisson et que les éléments touchés sont le four et la tour de préchauffage (la zone de cuisson). Il est noté que ces accidents ont comme conséquences des pertes économiques importantes ; et contrairement aux autres industries les conséquences en matière de l'atteinte à l'homme est moins importantes.

1.2 Problématique

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

Le retour d'expérience, concernant les accidents survenu dans des cimenteries similaires à celle de LAFARGE, et après consultation de l'EDD de l'entreprise, le fonctionnement et le processus de fabrication du ciment, nous avons défini notre problématique à résoudre et qui découle également du besoin propre de l'entreprise, et qui concerne la ligne de cuisson de la farine à savoir :

- 1- Perte de flamme durant la réchauffe du four.
- 2- Ratage d'allumage lors du démarrage du four après un arrêt.

Nous allons établir une démarche méthodologique d'analyse des risques majeur, à partir de laquelle nous allons ressortir avec des mesures efficaces de réduction des risques inhérents à la partie de l'usine ciblée, les moyens de prévention et de protection à mettre en place pour éviter qu'un accident de grande envergure ne se produise au niveau du four de la cimenterie de M'sila.

1.3 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce projet, est l'évaluation des risques associés aux deux événements redoutés, l'estimation des effets des scénarios d'accidents majeurs qui peuvent résulter et la mise en place de mesures de maitrises contre les deux événements redoutés déjà cités. Le travail consiste en l'analyse de risque détaillée afin de déterminer avec exactitude l'ensemble de mesures à proposer, qui présente une étape fondamentale dans le processus de fabrication du ciment.

Pour atteindre notre objectif principal, nous avons opté pour la démarche méthodologique suivante :

1.4 Démarche méthodologique

La démarche adoptée dans l'analyse des risques majeurs s'axe sur un travail qui se caractérise par la recherche des anomalies, tout en faisant appel pour chaque étape, selon le niveau de détails que nous voulons atteindre, à des méthodes d'analyses adaptées (figure 1.1), le point de départ de l'analyse est un découpage fonctionnel du processus de fabrication du ciment par l'utilisation de l'SADT afin de localiser nos deux événements redouté au niveau des sous-systèmes issu du découpage , une vérification des dites ER fera l'objet du déploiement de l'analyse préliminaire des risques (APR) à partir de laquelle nous ressortirons les équipements critiques responsables direct ou indirect de la survenu de ces ER, qui feront l'objet d'une analyse plus approfondie (dans notre cas l'analyse par la méthode arbre de défaillance , arbre d'évènement et enfin nœud de papillon). Une fois ces méthodes déployées, les résultats obtenus seront des éléments pour le choix des solutions à proposer et à mettre en place des actions de maitrise des risques afin de protéger les installations ciblées contre les dites ER.

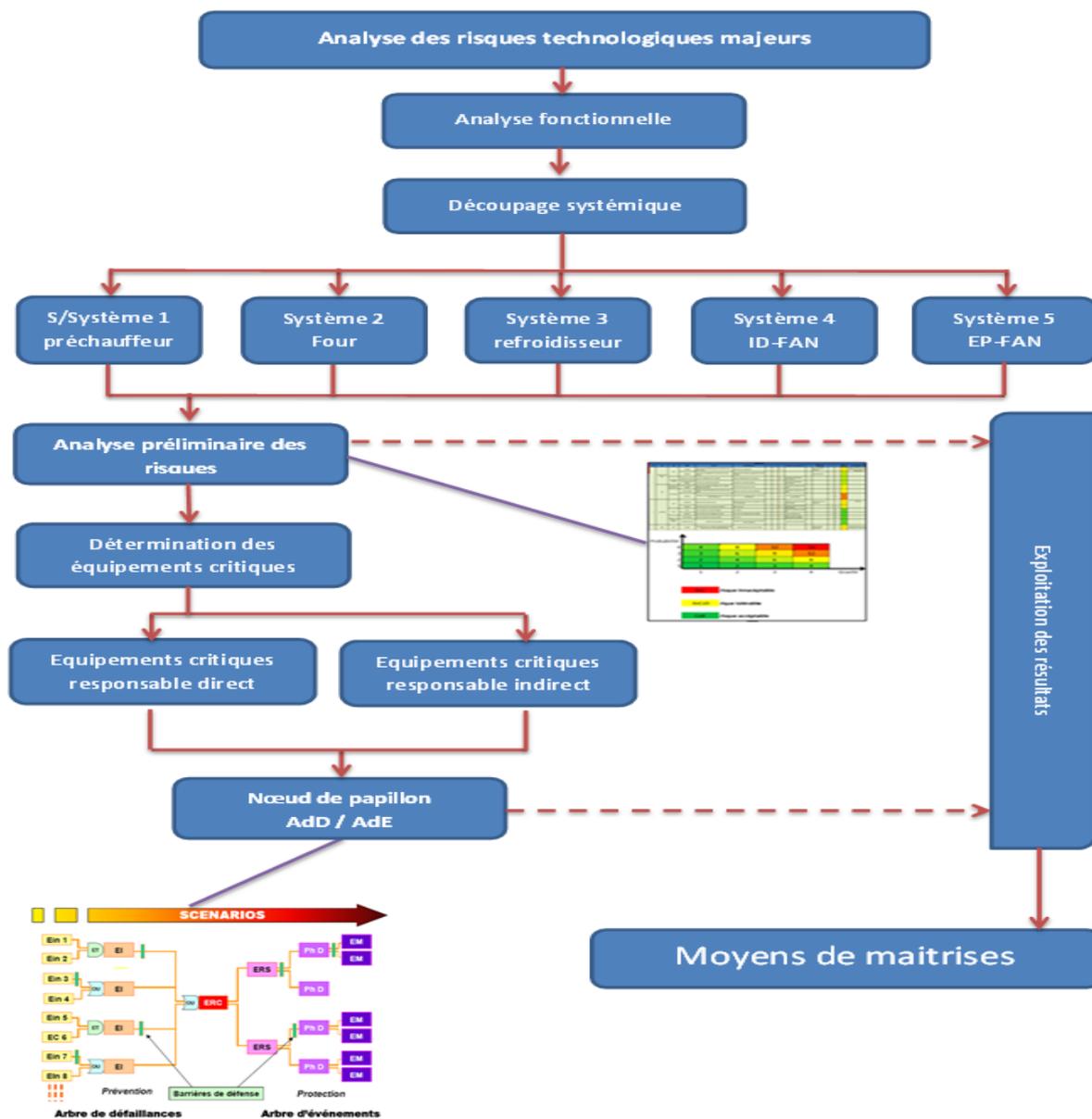


Figure 1.1 : Démarche d'analyse des risques technologiques majeurs

1.5 Présentation du groupe LAFARGE

Le groupe LAFARGE (GL) est un groupe Français fondé en 1833 lorsque Joseph-Auguste Pavin de Lafarge crée sa société d'exploitation de carrières de calcaire. C'est un acteur majeur au niveau mondial dans la production de ciment, granulats et bétons. Les trois activités principales du groupe sont :

- La production de ciment.
- La production de granulats.

- Le développement de produits et services à haute valeur ajoutée pour le secteur de la construction et des travaux publics, tels que le béton prêt à l'emploi [1].

Lafarge compte parmi les leaders de la production de matériaux de construction car il se concentre sur ses produits de base, en particulier la production et la distribution de ciments et granulats.

Le GL offre la plus grande diversité géographique du marché. Présent aussi bien en Europe que dans les pays émergents, sa diversification géographique assure la solidité de son économie. Il se développe en Afrique du Nord notamment en Algérie où il produit du ciment Portland. Le groupe se développe en Amérique du Nord et sur les marchés en forte croissance, notamment en Asie. Consciente de l'impact environnemental de son activité, l'entreprise met en place de nombreuses mesures de réduction de la pollution et de développement durable. En 2001, Lafarge acquiert Blue Circle et devient le leader mondial du ciment [2].

1.5.1 Présentation de LAFARGE-ALGERIE

L'Algérie est un marché d'importance stratégique pour le Groupe Lafarge dans le bassin méditerranéen. Le secteur de la construction est en croissance constante depuis 2000, avec d'importants besoins en matériaux de construction et solutions constructives.

- Activité et Stratégie

Lafarge Algérie, est aujourd'hui présente en Algérie à travers les activités « Ciments, Mortiers, Granulats, Bétons, Plâtres et Distribution » Lafarge Algérie possède 2 cimenteries à M'Sila et Oggaz, ainsi que Cilas Biskra en partenariat avec le Groupe Industriel Souakri pour une capacité totale de 11.5 MT/an. Lafarge Algérie gère en partenariat avec le GICA la cimenterie SCMI Meftah 1.5 MT/an.. L'activité Béton Prêt à l'Emploi opère 30 centres de production Lafarge Algérie a lancé la première enseigne de supermarché des matériaux de construction BATISTORE, permettant un accès groupé des matériaux et matériel pour la construction. Lafarge Algérie emploie 4000 collaborateurs (incluant les sous-traitants permanents) et est fortement engagée dans le développement économique et social en Algérie.

Pour les objectifs en 2018 Lafarge Algérie va s'engager cela avec le Groupe industriel des ciments d'Algérie (Gica) dans l'exportation du ciment dans le cadre de la stratégie tracée par le gouvernement [3].

- Hygiène et sécurité

A travers 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 comme suit [4] :

- 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.

- Réalisations du groupe LAFARGE en Algérie

Le tableau 1.1 ci-dessous présente les réalisations du GL en Algérie.

Tableau 1.1 : Réalisations du GL en Algérie [5].

Année	Réalisations du GL en Algérie
2002	Partenariat COLPA « Lafarge et Cosider », usine de production de plâtre à Bouira
2003	Construction de la cimenterie de M'Sila, la plus importante en Algérie
2007	Construction de la 1ère ligne de ciment blanc et lancement de l'activité Béton & Granulats
2008	-Partenariat Lafarge GICA pour l'usine de SCMI de Meftah. -Démarrage nouvelle ligne de Ciment gris à Oggaz Mascara.
2010	Nouvelle gamme produits : Chamil, Matine, Mokaouem, Malaki.
2013	-Lancement de la 1ère enseigne de vente de matériaux de construction BATISTORE . - Inauguration du premier laboratoire de la construction (CDL) en Afrique. -Démarrage à M'Sila du 5ème broyeur.
2014	-Partenariat CILAS: Lancement de la construction d'une nouvelle cimenterie à Biskra.

2015	-Lancement du ciment à haute performance technico-économique SARIE.
2015	-Fusion des deux Groupes Lafarge et Holcim pour former le nouveau groupe leader des matériaux de construction Lafarge-Holcim.
2016	-Démarrage CILAS Biskra. -Démarrage de l'activité ciment et mortiers - CMA Meftah. -Démarrage de la carrière de granulats à Kef Azrou. -Démarrage du 3eme four de plâtre COLPA. -6 nouveaux Batistore.
2017	-Lancement d'un liant pour tous travaux de maçonnerie et finition MOUKAMIL -Lancement d'une nouvelle gamme Mortier : « ciment colle blanc, mortier multi-usages, enduit monocouche ». -Lancement de la solution Route liant routier Ardia 600. -7 nouveaux Batistore.

- Activités et différents cimenteries du GL en Algérie

Les activités et différents cimenteries du GL en Algérie sont présentés dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2 : Activités et différents cimenterie du GL en Algérie [6]

LAFARGEHOLCIM en Algérie	
1	1 ^{er} Producteur de matériaux de construction (ciment, mortiers, plâtre, granulats, béton et distribution)
2	2 Cimenteries en propre : - M'sila capacité de (5.2 MT/an) - Oggaz capacité de (3.6 MT/an, Gris) et (0.6 MT/an, Blanc).
3	2 Cimenteries en partenariat : - Cilas Biskra avec le groupe souakri capacité de (2.7 MT/an). - SCMI Meftah avec GICA capacité de (1.5 MT/an).
4	1 ^{er} fournisseur de ciment pour les puits d'hydrocarbures (Oil Well Cement).
5	30 Centres de production de béton et granulats (1.5 m ³ /1 MT) implantés sur le territoire algérien avec une flotte de plus de 150 camions malaxeurs.
6	1 carrière d'agrégats en partenariat Kez Azrou 1MT/an.
7	1 Usine de Plâtre à bouira en joint-venture avec Cosider : COLPA 450 KT/an.
8	1 Unité de production de mortiers CMA Meftah 100 KT/an.
9	1 Unité de production de sacs ciment (130 m ³ /an) à BBA.
10	1 Laboratoire de construction CDL à Rouiba.
11	1 terminal d'ensachage à El Khroub.
12	15 Supermarchés BATISTORE.

1.5.2 Fusion de Lafarge et Holcim (GLH)

Le 7 Avril 2014, Lafarge et Holcim (groupe suisse de matériaux de construction) ont annoncé leur intention de procéder au rapprochement des deux sociétés dans le cadre d'une fusion qui par la suite est officiellement lancée le 15 juillet 2015 sous le nom de LafargeHolcim. Suite à la fusion, le GLH deviendra un leader mondial des matériaux de construction (ciment, granulats et béton) pour particuliers et professionnels. avec une forte présence dans toutes les régions et les principaux pays du monde, au service des besoins des clients. Le groupe deviendra un partenaire privilégié dans le secteur du bâtiment et des infrastructures, à l'écoute des consommateurs tout le long de la chaîne logistique [7].

Le GLH emploie environ 115.000 collaborateurs dans plus de 90 pays et dispose d'une présence équilibrée entre les marchés en développement et matures. Cette répartition géographique offre un positionnement idéal pour répondre aux enjeux de l'urbanisation croissante.

Pour réaliser son ambition stratégique, le groupe combiné a identifié trois éléments fondamentaux : les personnes, l'intégrité ainsi que la santé et la sécurité [26].

Suite à la fusion, le groupe bénéficiera d'un portefeuille large et diversifié de produits et services de matériaux de construction répondant aux principaux besoins tant dans les marchés émergents que dans les marchés développés. Ce portefeuille, ajouté à la large implantation géographique de Lafarge-Holcim, sa forte capacité d'innovation, son approche centrée sur le client et l'étendue de son activité, place le groupe dans une position favorable pour une croissance rentable.

1.6 Usine LAFARGE de M'sila – hammam dalaa

La cimenterie de Hammam dalaa est une filiale du GL (figure 1.2).



Figure 1.2 : Cimenterie de M'sila - Hammam Dalaa [26]

1.6.1 Situation géographique et accessibilité

La cimenterie de M'sila est située dans la localité de la commune hammam dalaa à 30 Km de la ville de M'sila et à 07 Km au sud Est de hammam dalaa soit à 03 km à l'est du lieu-dit Debil, au pied du gisement de calcaire Chouf Ammar et à 17 km au sud-Est du gisement d'argile de Bir Madi, et à 04 km de la RN 60 qui relie hammam dalaa a M'sila, le site se situe à 240 km au Sud-Est d'Alger (figure 1.3).



Figure 1.3 : Situation géographique de la cimenterie de M'sila

1.6.2 Activité

L'usine de M'sila - Hammam Dalaa a été mise en service en 2003 et elle a pour objet la fabrication et la commercialisation de différentes qualités de ciment.

L'unité de production de M'sila - Hammam Dalaa utilise le procédé de fabrication à voie sèche. L'usine comprend des ateliers de concassage, de broyage, d'homogénéisation et de stockage de la farine, de cuisson et stockage du clinker, de broyage du ciment et d'ensachage et expédition du ciment.

1.6.3 Organigramme du GL à M'sila

La figure 1.4 présente L'organigramme de la cimenterie de LAFARGE M'SILA :

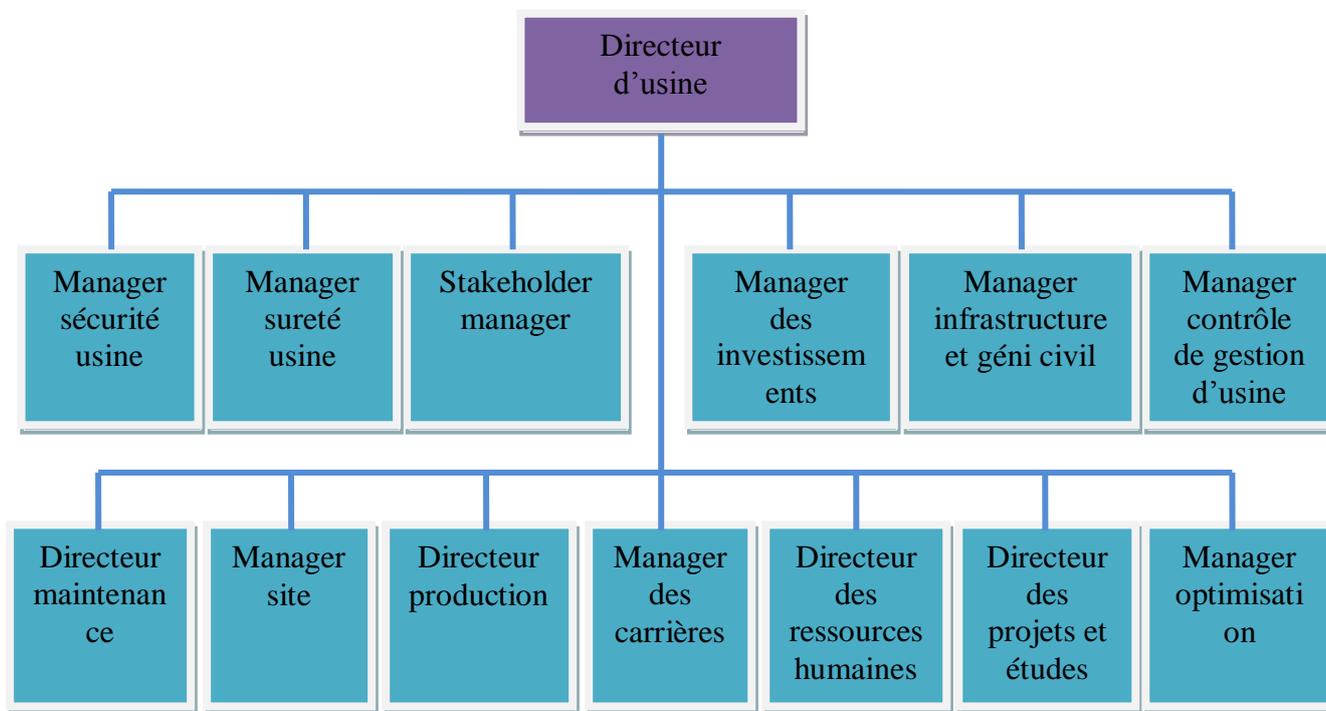


Figure 1.4 : Organigramme du GL de M'sila [26]

1.6.4 Description des activités de la cimenterie de M'sila

Dans cette partie d'étude, nous allons aborder les constituants du ciment ainsi que ces procédés de fabrication à l'usine de cimenterie LAFARGE de M'sila.

1.6.4.1 Ciment

- Définition :

Selon la norme NF P 15-301 de 1994, le ciment se définit comme suit :

« Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau ».

- Matières premières du ciment :

L'usine de LAFARGE s'est installée à hammam dala en raison de la richesse de cette région en calcaire. Les matières premières (Figure 1.5) qui rentrent dans la fabrication du ciment sont presque toutes des carrières situées à proximité de la cimenterie afin de réduire les coûts de transport, et sont essentiellement composées de calcaire et d'argile ou de toutes matières renfermant essentiellement de la chaux (CaO), de la silice (SiO_2), de l'alumine (Al_2O_3), de l'oxyde ferrique (Fe_2O_3), la pouzzolane (matière volcanique) et les matières de correction (le sable et les minerais de fer).



Figure 1.5 : Composants du ciment [26].

1.6.4.2 Procédé de fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ des mélanges de calcaire, d'Argile et minerais de fer. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers. Ce clinker constitue la matière première du ciment, pour y aboutir il faut broyer le clinker avec un peu de gypse selon le type de ciment souhaité, le ciment, produit et stocké dans des silos, passe à la dernière étape de fabrication, il s'agit de l'ensachage avant d'être expédié dans des sacs ou en vrac selon le besoin du client.

Pour la production de ciment Portland au Clinker, par voie sèche, le processus de fabrication de la cimenterie de M'sila passera par six étapes essentielles suivantes :

- ✓ Concassage.
- ✓ Préparation de la farine crue.
- ✓ Homogénéisation.
- ✓ Cuisson.
- ✓ Broyage ciment.
- ✓ Expédition.

Les deux schémas (figures 1.6) et (figures 1.7) résument le processus de fabrication du ciment de la carrière à l'expédition :

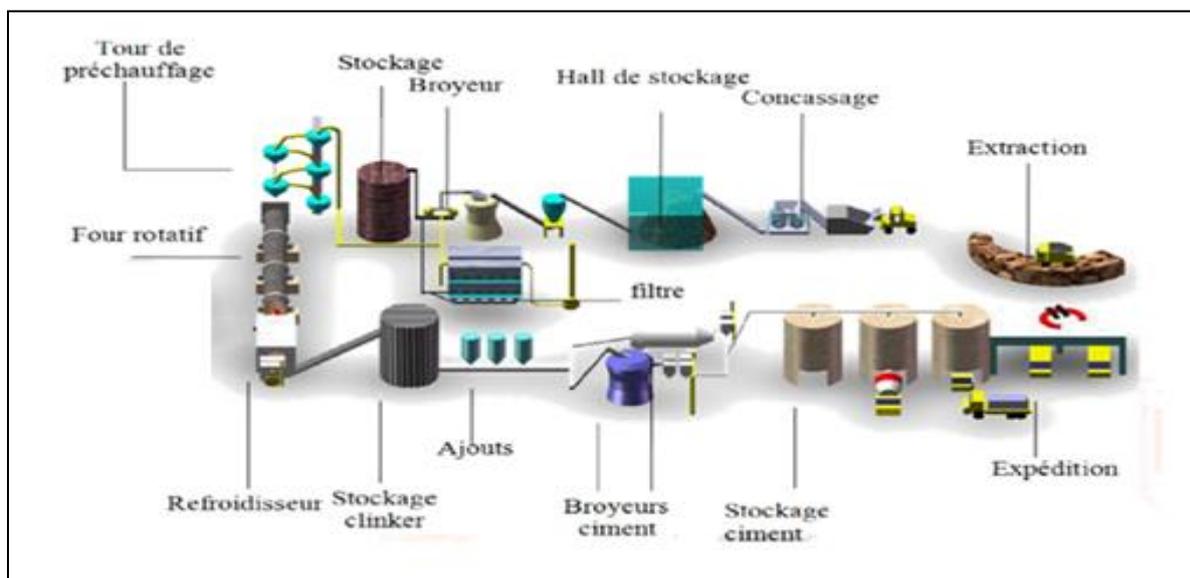


Figure 1.6 : Processus de fabrication du ciment

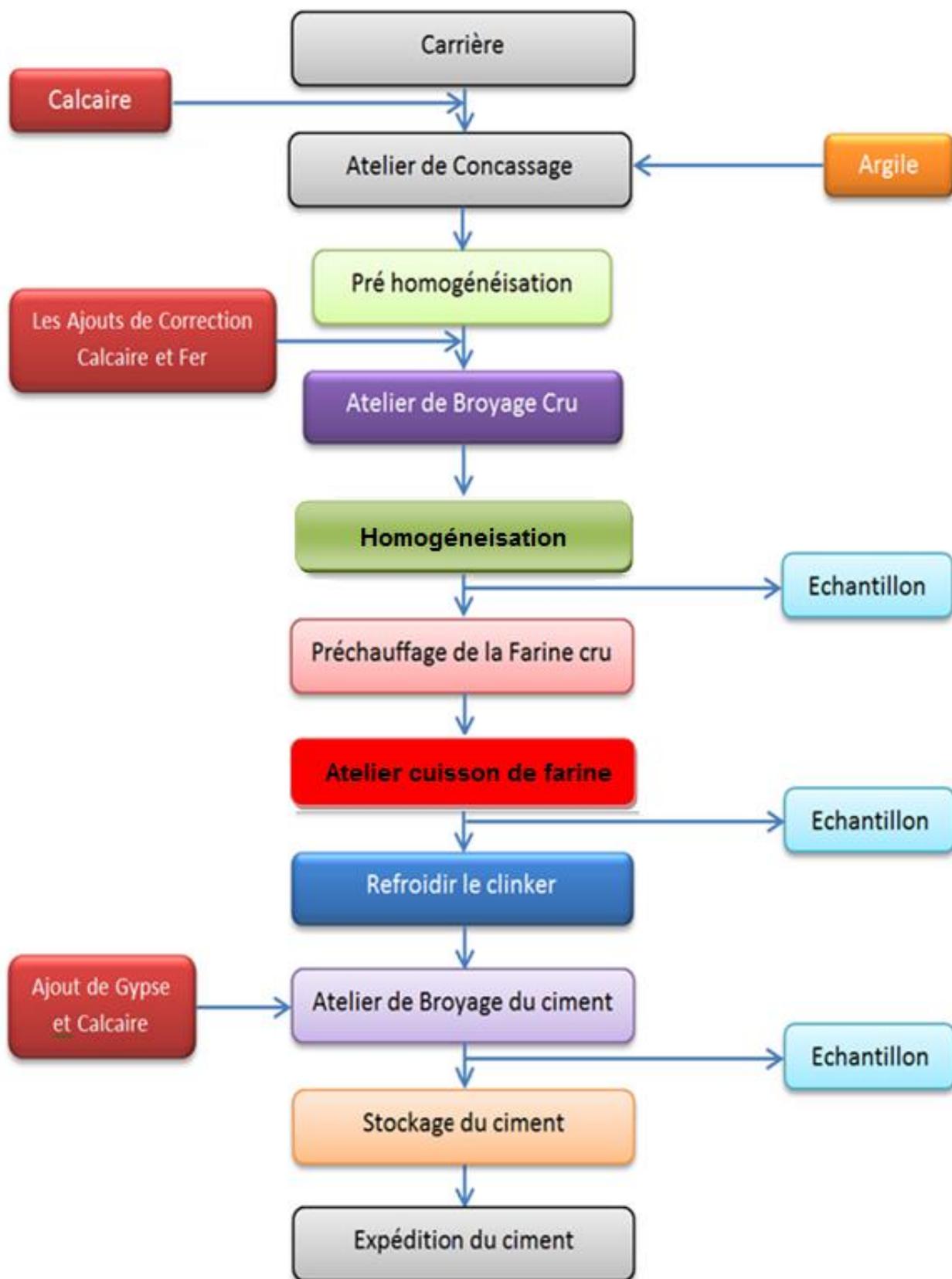


Figure 1.7 : Organigramme du processus de fabrication du ciment

- Station de Concassage

Le calcaire extrait de la carrière (figure 1.8) par abattage est acheminé par dumpers vers le concasseur, le calcaire concassé est transporté directement vers le hall de stockage pour être acheminé après vers la trémie de l'atelier du broyeur cru à l'aide de bandes transporteuses.



Figure 1.8 : Exploitation de la carrière de LAFARGE M'sila

L'argile concassée est entreposée dans le hall de stockage d'où il est directement acheminé vers la trémie d'alimentation du broyeur cru par des bandes transporteuses.

Le sable broyé isolément est acheminé vers la trémie de l'atelier du broyeur cru par une bande transporteuse.

- Préparation de farine crue

Le mélange de calcaire (83 %), de l'argile (15 %) et de sable (1 %) est finement broyé dans un broyeur vertical VRM.

Le broyeur est équipé d'un garnissage spécial pour éviter l'altération des matériaux par toute matière oxydante. Le séchage du mélange à l'intérieur du broyeur est assuré par les gaz provenant du four.

- Homogénéisation et stockage

Le produit obtenu après broyage, appelé farine crue, est envoyé directement dans le silo pour homogénéisation et stockage à l'aide d'une pompe de transport pneumatique. Après son homogénéisation, la farine est envoyée vers l'atelier cuisson.

- Atelier de cuisson

La ligne de cuisson est constituée de :
(figure 1.9)

- une tour de préchauffage composée de 5 étages de cyclones et une pré-calcination.
- un four rotatif équipé de bruleur.
- un refroidisseur à grilles équipé de concasseurs.

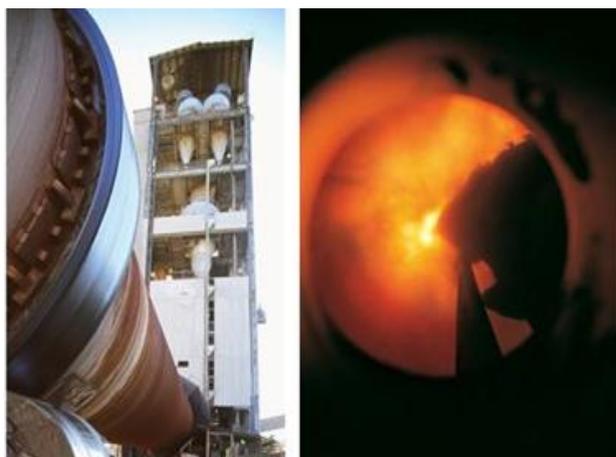


Figure 1.9 : Cuisson de la farine dans un four

A la sortie du silo d'homogénéisation, la farine sera acheminée vers la tour de préchauffage, la farine crue rencontre les gaz chauds sortant du four. Ces mêmes gaz sont refoulés dans une tour de conditionnement puis aspirés par un ventilateur à travers un filtre électrostatique EP600 qui récupère les poussières par ionisation.

La farine crue quitte le système (Tour de préchauffage) à une température aux environs de 300 °C à 380 °C durant son déplacement dans le four à contrecourant des gaz chauds, la matière subit des réactions chimiques nécessaires.

Dans l'ensemble de cuisson, au fur et à mesure de l'enlèvement de température, les opérations suivantes se déroulent :

- De 0 à 550 °C : élimination progressive de l'eau libre et de l'eau de constitution des matières Premières.
- De 550 à 900 °C : décarbonatation du calcaire donnant CaO (chaux vive) et CO₂ (gaz carbonique).
- De 900 à 1450 °C : formation du clinker, c'est-à-dire des composants recherchés, silicates, aluminates et Ferro-aluminates de calcium.

Le clinker se déverse dans le refroidisseur où il est refroidi brusquement par injection d'eau pour le maintien de la constitution minéralogique qui assure sa blancheur. Le clinker refroidi est stocké dans un hall de stockage.

1.6.4.3 Équipement de l'atelier de cuisson

Tableau 1.3 : Équipements de la ligne de cuisson [26]

Équipements	Description
1-Pré chauffeur	-01 Tour de préchauffage de 5 étages de cyclones -01 Chambre de pré calcination. -01 Station de gaz. -Consommation de chaleur : 475 kcal/kg (60% *)
2-Four	Capacité : 6000 t / j -03 Supports -01 Virole de diam 4.75 x 74 m -01 Bruleur -01 Station de gaz. -Consommation de chaleur : 315 kcal/kg (40% **)
3-Refroidisseur clincker	Type : Refroidisseur à grilles statiques à 3 compartiments. Capacité : 6000 t / j Température clincker : 65 °C + Température ambiante -01 Concasseur clincker : type à marteaux.

* 60% correspond à la consommation du gaz naturel par le précalcinateur.

** 40% correspond à la consommation du gaz naturel par le Bruleur.

- Tour de préchauffage

Les gaz chauds formés dans le four sont tirés par un ventilateur et circulant à grande vitesse dans les cyclones de la tour échangeur. La farine est injectée à la partie supérieure et descend par gravité dans les cyclones successifs pour pénétrer ensuite dans un précalcinateur qui contient les gaz de combustion du coke de pétrole issus des deux brûleurs situés à la partie inférieure de la tour. Ensuite la matière entre dans la boîte à fumée décarbonatée de 85 à 90%. L'échange thermique au sein de la tour s'accompagne des effets suivants :

- Évaporation de l'eau libre ;
- Dégagement de l'eau de constitution des argiles ;
- Décarbonatation partielle de la farine ;

Un système de canons à air est installé dans des différents points du préchauffeur afin d'éviter le colmatage des dépôts éventuels de la matière.

- Four rotatif

Le four est un réacteur en forme de tube rotatif incliné de 3%. Le chauffage est assuré par une flamme issue d'un brûleur installé à l'autre extrémité du four. La farine provenant de la tour de préchauffage déjà décarbonatée à 95%, poursuit son parcours dans le four et y entre à 1000°C environ, est chauffée jusqu'à la température de frittage ou clinkérisation de 1450 °C. Dès lors les minéraux qu'elle contient, réagissent pour donner des nouvelles combinaisons minéralogiques principalement des silicates et des aluminates de calcium : le clinker.

On distingue trois zones au sein du four :

La zone de décarbonatation (appelée aussi zone de transition) : c'est la zone à l'entrée du four, qui correspond à la phase de décarbonatation de la farine crue à 5%, c'est à ce niveau qu'il y a passage de la farine de son état liquide à l'état solide.

La zone de cuisson : c'est la zone la plus importante et la plus chaude du four. En effet, la température de cette zone peut dépasser 1500 °C, ce qui permet la combinaison de $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ (ou C_2S) avec la chaux libre pour donner les cristaux de $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ (ou C_3S).

La zone de clinkérisation : les cristaux issus de la zone de cuisson poursuivent leur chemin et grossissent et granulent, formant ainsi du clinker. La chaleur nécessaire pour la réalisation de ces réactions est assurée par la combustion du gaz naturel. La rotation et l'inclinaison du four permettent la progression de la matière.

- Refroidisseur

Le clinker se déverse dans le refroidisseur où il est refroidi brusquement par injection d'eau pour le maintien de la constitution minéralogique qui assure sa blancheur. Le clinker refroidi est stocké dans un hall de stockage.

- Atelier de Broyage Ciment

Le clinker est introduit dans le broyeur horizontal à boulets, avec quantité de gypse (5%). Ce mélange broyé donne le ciment. Le ciment est stocké dans des silos.

- Expéditions

L'expédition est constituée d'un atelier de chargement en vrac, d'une ensacheuse, d'un système de palettisation, ou atelier de fardélisation, et d'un pont bascule permettant le pesage des camions (sacs et vrac).

✓ Salle de contrôle

La salle de contrôle, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, des techniciens supervisent l'ensemble des phases de la production.

✓ Contrôle de la qualité

La qualité du ciment dépend de la résistance et de la pérennité des ouvrages. Le ciment répond à des normes françaises et européennes très sévères sur lesquelles les fabricants s'engagent.

1.6.4.4 Types de ciment fabriqués

Lafarge fabrique et commercialise les ciments suivants :

- Ciments Portland

- Ciment Portland Artificiel / CPA
- Ciment Portland aux Ajouts / CPJ
- Ciment Mortier / CM 250

- Ciments Spéciaux

- Ciment Résistant aux sulfates / CRS
- Ciment Pétrolier classe G / MRS
- Ciment Pétrolier classe G / HRS
- Ciment Prise mer

✓ Capacité de production

Pour la production du ciment la capacité est de 5,2 MT/an, les quantités sont réparties comme suit :

- La première ligne est de 2.8 millions de tonnes / an
- La deuxième ligne est de 2.4 millions de tonnes / an

1.6.4.5 Différentes voies de fabrication du ciment

Il existe quatre principaux procédés de fabrication du ciment qui diffèrent entre eux selon la nature du traitement thermique utilisé : (la voie humide, semi humide, semi sèche et voie sèche). Le procédé de fabrication de ciment utilisé dans l'usine Lafarge de M'sila est par voie sèche :

La voie sèche c'est la plus utilisée et la plus économique. La matière première, une fois concassée, est broyée à sec, homogénéisée, et avant l'entrée au four, elle se chauffe à une température de 900 à 1000°C. Cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique.

1.6.4.6 Norme Algérienne du ciment

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 (Tableau 1.4) :

Tableau 1.4 : Types de ciments courants et leur composition (en %)

Type	Notation	Clinker	Autres constituants	Constituants secondaires
Ciment Portland	CEM I	95 - 100	--	0 - 5
Ciment Portland composé	CEM II A	80 - 94	6 - 20	--
	CEM II B	65 - 79	21 - 35	--
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
Ciment pouzzolanique	CEM IV A	65 - 90	10 - 35	0 - 5
	CEM IV B	45 - 64	36 - 55	0 - 5
Ciment composé	CEM V A	40 - 64	18 - 30	0 - 5
	CEM V B	20 - 39	31 - 50	0 - 5

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 (1.5) résume les seuils des différentes résistances en MPa et les catégories de ciments auxquelles ils correspondent.

Tableau 1.5 : Classe des résistances de ciment [26]

Classe de résistance	Résistance à la compression				Temps de début de prise	Stabilité (expansion)
	MPa					
	Résistance à court terme		Résistance courante			
2 jours	7 jours	28 jours		min	mm	
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	—				

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).

Ce chapitre a mis en évidence, d'une part, l'importance du secteur de cimenterie dans le développement durable du pays, en couvrant la demande croissante du marché ciment avec les matériaux de constructions, Ainsi que la présence d'un partenaire important du secteur cimentier en Algérie, le groupe Lafarge Algérie. D'autres parts, ce chapitre nous a permis de situer la problématique posée dans son contexte et une méthodologie est proposée pour la maîtrise des risques au niveau de la cimenterie de M'sila. Les méthodes et outils d'analyse des risques feront l'objet du chapitre qui suit.

Chapitre II

METHODES ET OUTILS D'ANALYSE DES RISQUES

Chapitre II METHODES ET OUTILS D'ANALYSE DES RISQUES

Ce chapitre a pour objectif d'identifier un potentiel de danger et de s'initier à l'évaluation des risques afin d'éclaircir les notions de gestion des risques, de préciser notamment, les termes technique relative à la sécurité industrielle, à savoir, la notion de risque majeur, le concept de barrières de maitrise des risques.

Nous allons aussi donner un aperçu sur la réglementation relative à la gestion des risques industriels applicable dans les installations classées avec une présentation des méthodes d'analyse des risques utilisés (APR, arbre de défaillance, arbre d'évènement et nœud de papillon).

2.1 Règlementation de la maîtrise des risques industriels

Cette partie de ce deuxième chapitre présente les lois et règlements applicables aux installations classées en Algérie.

2.1.1 Législation algérienne

Le cadre légal régissant les dangers industriels en Algérie s'appuie sur la loi N° 04-20, promulguée le 25 décembre 2004 (loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable). C'est le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) qui est responsable de cette loi et des études de danger prescrites par cette loi.

Le cadre légal s'appuie également sur la loi N° 03-10, promulguée le 19 juillet 2003 (loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable). C'est le MATE qui est également responsable de cette loi.

2.1.2 Cadre légal

Selon la loi N° 03-10, des installations comme celles de l'usine de cimenterie LAFARGE de M'sila, sont soumises à l'autorisation du Ministre de l'environnement et autres Ministres concernés. La délivrance de l'autorisation est précédée, entre autres, d'une étude relative aux dangers et incidences relatifs aux installations.

Selon la loi N° 04-20, toute installation industrielle doit, avant sa mise en exploitation, être soumise à une étude de danger (EDD). L'usine de cimenterie LAFARGE est donc soumise au processus d'évaluation des dangers, qui implique la réalisation d'une EDD.

Le décret exécutif N° 98-339 du 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature, définit trois catégories d'installations:

1^{ère} catégorie : Installations soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement.

2^{ème} catégorie: Installations soumises à autorisation du Wali.

3^{ème} catégorie: Installations soumises à autorisation du président de l'assemblée populaire communale.

Les installations de 1^{ère} catégorie et celles de 2^{ème} catégorie sont soumises à une étude de danger.

Le décret exécutif N° 06-198 du 4 juin 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, a pour objet de définir la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, et, notamment, les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés, leurs modalités de délivrance, de suspension et de retrait, ainsi que les conditions et modalités de leur contrôle.

Un établissement classé est défini comme étant l'ensemble de la zone d'implantation comportant une ou plusieurs installations classées et qui relève de la responsabilité d'une personne physique ou morale, publique ou privée qui détient, exploite ou fait exploiter l'établissement et les installations classées qui en relèvent. Les établissements classés sont subdivisés en quatre catégories:

-Établissement classé de première catégorie : comportant au moins une installation soumise à autorisation ministérielle.

-Établissement classé de deuxième catégorie : comportant au moins une installation soumise à autorisation du wali territorialement compétent.

-Établissement classé de troisième catégorie : comportant au moins une installation soumise à autorisation de président de l'assemblée populaire communale territorialement compétent.

-Établissement classé de quatrième catégorie : comportant au moins une installation soumise au régime de la déclaration auprès du président de l'assemblée populaire communale territorialement compétent.

Toute demande d'autorisation d'exploitation d'un établissement classé est précédée notamment d'une étude de danger. Le décret N° 06-198 établit la liste des éléments qui doit comporter une EDD.

L'instruction ministérielle de février 2005 relative à la prévention, la maîtrise et la gestion des risques industriels énergétiques, qui fait référence aux lois 03-10 et 04-20, précise le contenu des EDD.

L'EDD réalisée par une assistance de capacités d'expertise et à la charge de l'exploitant:

- Expose les risques que peut présenter l'installation en cas d'accident.
- Définit les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents majeurs.
- Définit les mesures d'organisation et de gestion pertinentes pour la prévention de ces accidents et la réduction de leurs effets.

Les informations contenues dans l'EDD doivent permettre d'identifier les sources de risques ainsi que de déterminer les scénarios envisageables qui pourraient affecter les personnes et l'environnement.

2.2 Notions préliminaire et définitions

Dans cette partie nous présentons quelque notions et définition qui sont essentielle dans le déroulement de notre projet.

2.2.1 Notion de risque

Le guide internationale ISO/CEI 73 définit le risque comme « la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » [8], ou bien « la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité », suivant ISO/CEI 51 [9].

- Risque majeur

Le risque industriel majeur est le risque qui résulte de l'exploitation d'installations industrielles dangereuses et qui est plus particulièrement relatif à la possibilité d'occurrence d'un accident majeur : « 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, entraînant des conséquences graves, immédiates ou différées, et faisant intervenir une ou plusieurs substances ou des préparations dangereuses » [20]

- Prévention des risques majeurs

La mise en œuvre des procédures et des règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels et technologiques (JORADP no 04-20) [10].

- Scénarios d'accidents majeurs

Le scénario d'accident majeur peut être défini comme l'enchaînement d'événements indésirables (Ei), aboutissant à un événement redouté central (ERC) qui conduit à un ou des événements majeurs (EM) [11].

▪ Évènement Indésirable (Ei)

Représente un événement ne devant pas se produire ou avec une probabilité moins élevée. Cela peut être une agression, une défaillance, panne d'équipement ou dérive de paramètre [11].

- **Évènement Redouté (ER)**

Est un événement qui entraîne la perte d'une ou des fonction(s) essentielle(s) d'un système et cause des dommages importants au dit système ou à son environnement en ne présentant toutefois qu'un risque négligeable de mort ou de blessure. La perte de confinement de produit, la perte d'intégrité de l'installation ou la rupture d'équipement en sont des exemples [11].

- **Évènement Initiateur (EI)**

Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique [11].

- **Évènement Majeur (EM)**

Est un événement critique aux conséquences finales lourdes [11].

2.2.2 Principe de la gestion des risques

La gestion des risques ou management des risques peut être définie comme l'ensemble des activités coordonnées menées en vue de réduire les risques à un niveau jugé tolérable ou acceptable à un moment donné et dans un contexte donné.

Il existe actuellement plusieurs référentiels définissant le vocabulaire du management des risques qui présentent encore entre eux (Guide ISO CEI 73 et Fascicule de documentation AFNOR FD X50_252) des différences relativement importantes sur les termes.

A l'issue de la phase d'appréciation (ou estimation) des risques, la phase d'évaluation consiste à comparer le risque estimé à des critères de décision. Cette phase peut revêtir diverses formes : comparaison des risques à un niveau d'acceptabilité du risque, hiérarchisation des scénarios pour identifier les scénarios devant faire l'objet d'un traitement en priorité.

Il est important de souligner que l'analyse des risques est une étape qui intervient en amont de l'étape nommée ici évaluation (même si ce terme est aussi souvent employé à la place d'appréciation ou estimation), qui consiste à comparer le risque estimé à des critères de décision dont l'élaboration fait l'objet d'un processus séparé mais qui conditionnent néanmoins le format des résultats de l'analyse des risques.

2.2.2.1 Analyse des risques

L'analyse des risques vise donc tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

Suivant les outils ou méthodes employés, la description des situations dangereuses est plus ou moins approfondie et peut conduire à l'élaboration de véritables scénarios d'accident.

L'analyse des risques permet aussi de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de hiérarchiser les risques identifiés au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque aux critères de décision.

L'estimation du risque implique la détermination :

- D'un niveau de probabilité que le dommage survienne (P),
- D'un niveau de gravité de ce dommage (G).

2.2.2.2 Évaluation des risques

L'évaluation du risque désigne l'étape de comparaison du risque estimé à des critères de décision face au risque (figure 2.1).

La plupart du temps, il s'agit de décider si le risque est acceptable ou s'il doit faire l'objet de mesures supplémentaires de maîtrise. La définition de critères d'acceptabilité du risque est réalisée en amont ou en parallèle au processus d'analyse de risque. Elle implique des acteurs différents : les décideurs, de préférence en concertation avec les parties intéressées.

La définition de critères d'acceptabilité du risque ou, plus généralement de critères de décision, est une étape clé dans le processus de gestion du risque dans la mesure où elle va motiver la nécessité de considérer de nouvelles mesures de réduction du risque et rétroactivement, influencer les façons de mener l'analyse et l'évaluation des risques.

Cette étape cruciale est bien souvent délicate, Il est entendu que ces critères sont fonction du contexte de l'établissement concerné et des objectifs poursuivis dans la gestion des risques.

A ce propos, la définition du risque tolérable donnée dans le guide ISO/CEI 51:1999 laisse transparaître la difficulté de retenir des critères objectifs et forfaitaires pour l'acceptation du risque :

Risque tolérable ISO/CEI 51.1999 : risque accepté dans un certain contexte et fondé sur les valeurs admises par la société.

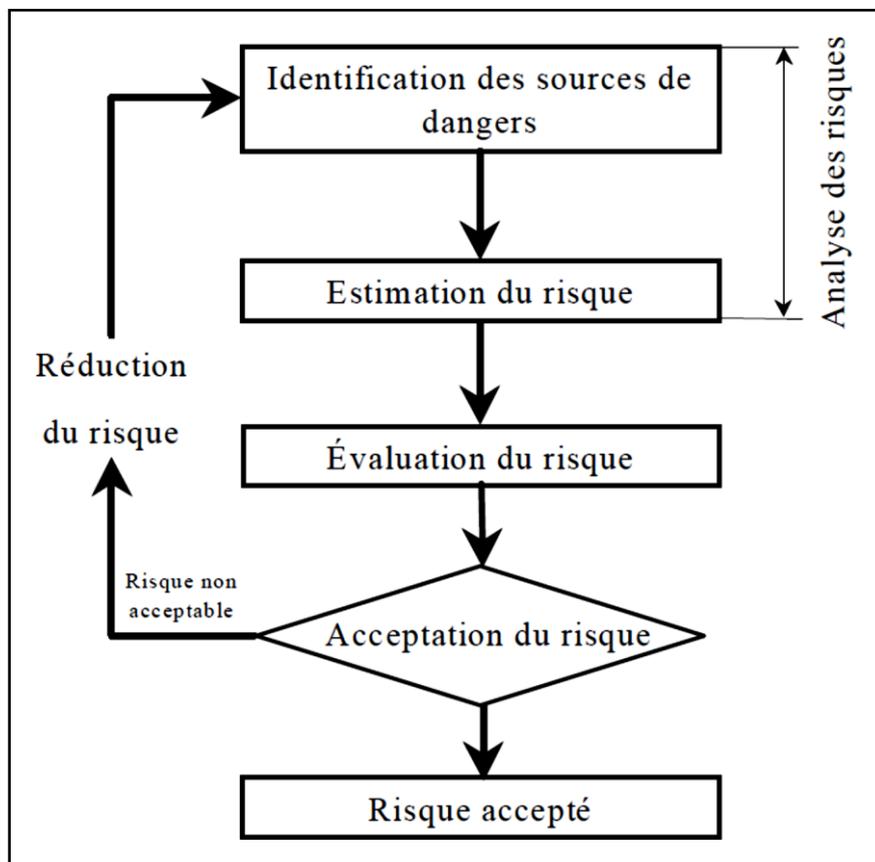


Figure 2.1 : Processus de la gestion des risques [12]

2.2.2.3 Réduction du risque

La réduction du risque (ou maîtrise du risque) désigne l'ensemble des actions ou dispositions entreprises en vue de diminuer la probabilité ou la gravité des dommages associés à un risque particulier.

De telles mesures doivent être envisagées dès lors que le risque considéré est jugé inacceptable.

De manière très générale, les mesures de maîtrise du risque se répartissent en :

- Mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux.
- Mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux.
- Mesures (ou barrières) de protection : mesure visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité.

Des mesures de réduction du risque doivent être envisagées et mises en œuvre tant que le risque est jugé inacceptable.

Les mesures de réduction du risque consistent souvent à mettre en place des barrières de sécurité, dispositifs techniques ou organisationnels qui assurent la maîtrise du risque. La réduction du risque effectivement apportée par les barrières de sécurité dépend de leur efficacité, de leur temps de réponse et de leur fiabilité caractérisée par un niveau de confiance.

2.3 Méthodes d'analyse des risques

Il existe de nombreuses méthodes d'analyse des risques, parmi ces méthodes : APR, l'Analyse par arbre d'évènement, Analyse par arbre de défaillance et nœud papillon [13].

2.3.1 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.

2.3.1.1 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[13].

- 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[13].

- 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 2.2 [14].

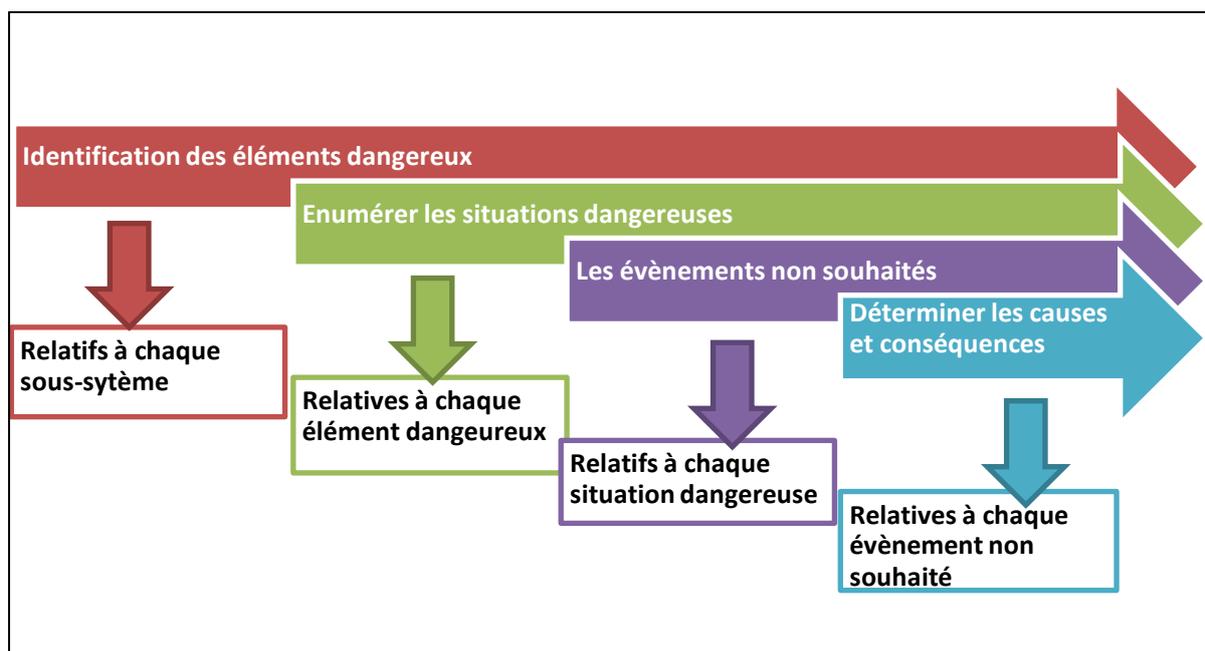


Figure 2.2 : Principes de la méthode APR [14]

L'enchaînement de l'APR 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 redoutés (ER) 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[14].

- 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 redoutés (ER)) :** Déterminer les ER 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 ER et les conséquences qui peuvent en découler.
- ✓ **Étape 6 (établissement de 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 :

$$C = F \times G \dots\dots\dots (2.1)$$

✓ **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 :

$$C' = F' \times G' \dots\dots\dots (2.2)$$

✓ **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 2.3 schématise l'agencement des étapes de la démarche à adopter, elle sera résumée dans un tableau qui sera présenté par la suite.

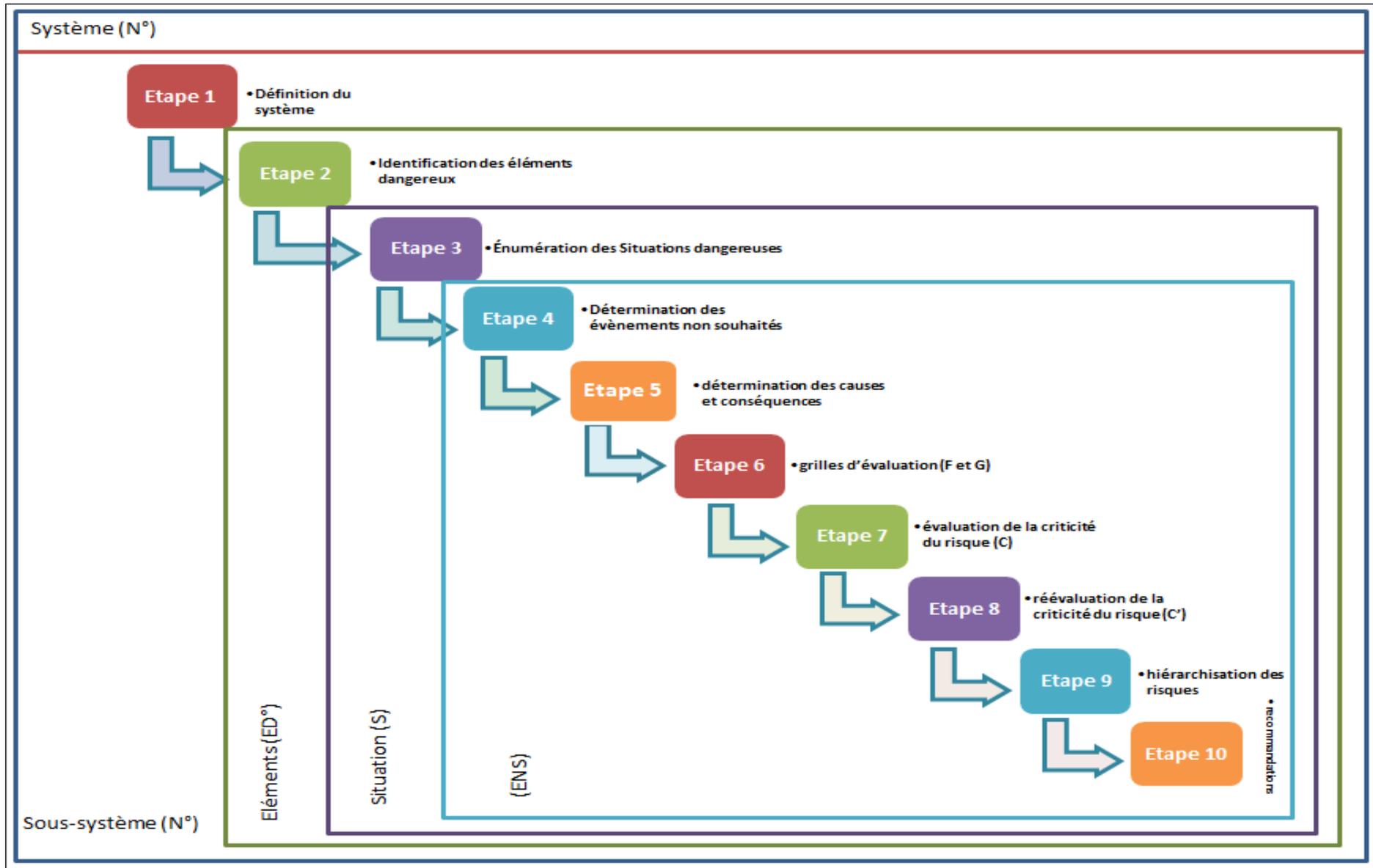


Figure 2.3 : Déroulement de la méthode APR [27]

Nous avons choisi le modèle donné dans le tableau 2.1 comme un tableau d'APR lors de déploiement de la méthode :

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.

2.3.1.2 Arbre des défaillances (ADD)

- Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine « Bell Téléphone » et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

L'analyse par arbre des défaillances visent à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'ADD est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique.

Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'évènement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident [15].

- Principe de l'ADD

L'ADD est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté qui est l'évènement initiateur.

Les évènements de base (ou initiateur) correspondent généralement à des:

- Évènements élémentaires qui sont généralement suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Certains de ces évènements élémentaires peuvent être suffisamment fréquents pour qu'il soit possible d'en estimer une probabilité future sur la base d'une analyse statistique. Ce n'est cependant pas toujours le cas et la probabilité des évènements élémentaire demeure une donnée difficile à établir.

L'ADD est fondée sur les principes suivants quel que soit la nature de ces évènements initiateurs :

- Ces évènements sont indépendants;
- ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples.
- leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être estimée.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu.

Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente (figure 2.5).

A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés.

L'analyse par arbre des défaillances d'un évènement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'évènement redouté étudié,
- Élaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système avec une décomposition fonctionnel de ce dernier car l'ADD nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

- Déroulement et élaboration de l'arbre

La définition de l'évènement finale est une étape cruciale pour élaborer une analyse par arbre des défaillances, plus l'évènement est défini d'une manière précise plus simple sera l'élaboration de l'ADD, (figure 2.4).

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires.

La recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est à la base de la construction de l'arbre, Il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre, en particulier en cas de système complexe comme le cas de la cimenterie de LAFARGE de M'sila.

Afin de sélectionner les événements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes. Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné [15].

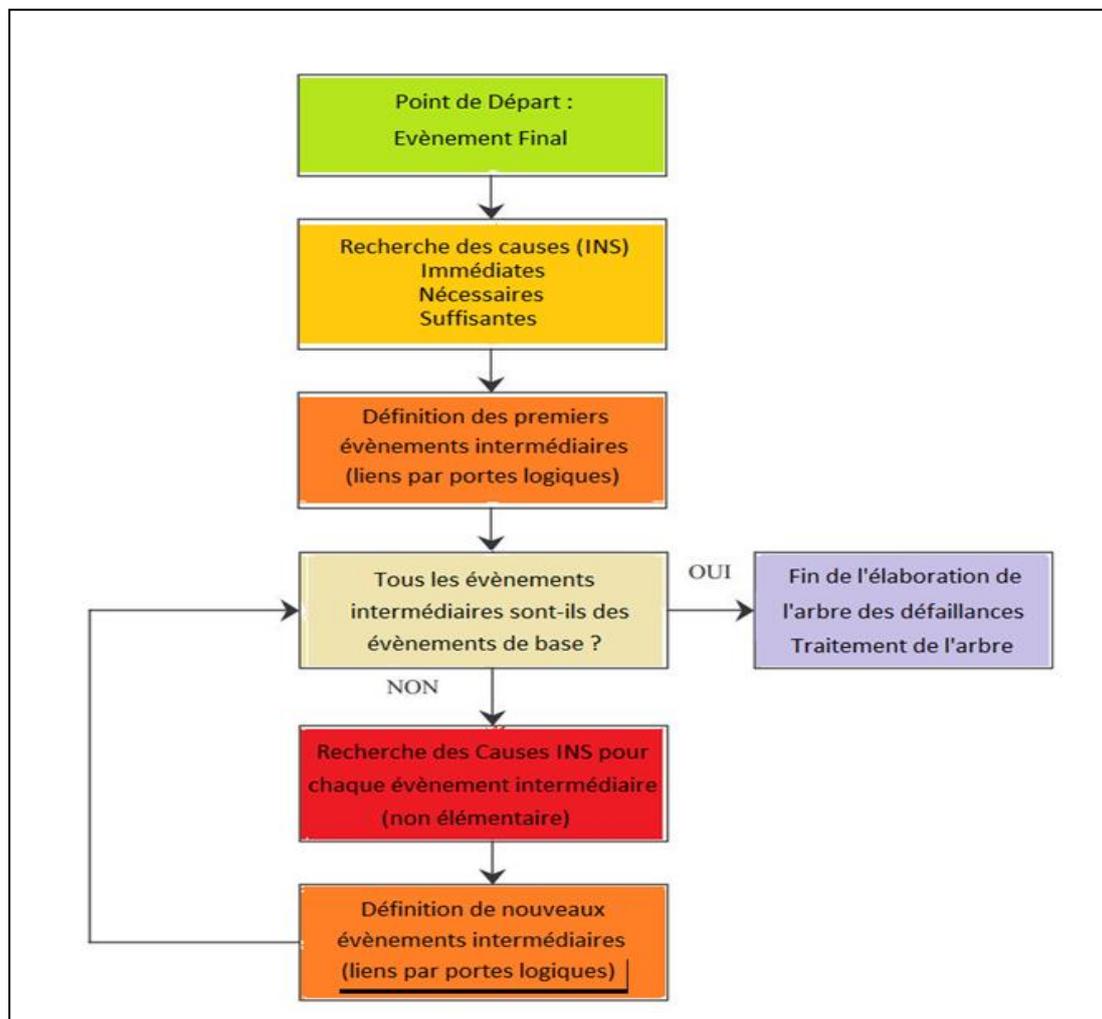


Figure 2.4 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre de défaillance [13].

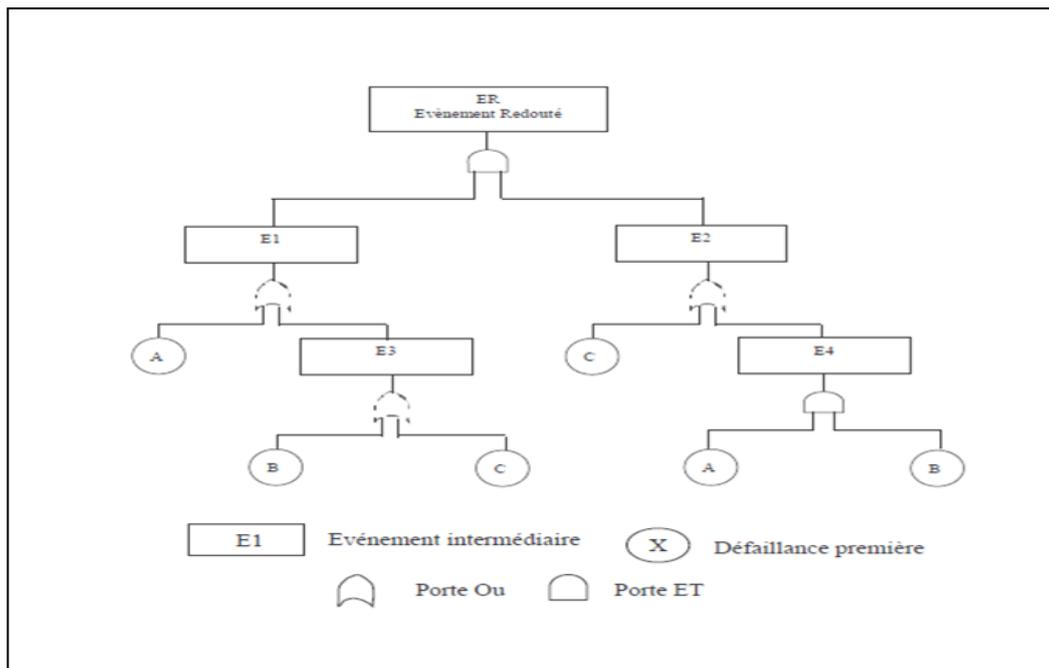


Figure 2.5 : Exemple d'arbre des défaillances [14].

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'évènements pouvant conduire à un événement indésirable (intermédiaire) ou redouté (final). Plus l'ordre d'une coupe minimale est petit, plus l'occurrence de l'événement final suivant ce chemin critique peut paraître probable.

- Limites et avantages

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements.

Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des évènements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels.

L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques.

2.3.1.3 Arbre des évènements (ADE)

- Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre d'évènements a été développée au début des années 1970 pour l'estimation du risque lié aux centrales nucléaires. Particulièrement utilisée dans le domaine du nucléaire, son utilisation s'est étendue à d'autres secteurs d'activité.

De par sa complexité proche de celle de l'analyse par arbre des défaillances, cette méthode s'applique sur des sous-systèmes bien déterminés. Elle apporte une aide précieuse pour traiter des systèmes comportant de nombreux dispositifs de sécurité et de leurs interactions. L'ADE permet d'estimer les probabilités d'occurrence de séquences accidentelles à condition de disposer de la probabilité d'occurrence de l'évènement initial et de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité.

Cette méthode est aussi utilisée dans le domaine de l'analyse après accidents en vue d'expliquer les conséquences observées résultant d'une défaillance du système [15].

- Principe de l'ADE

L'analyse par arbre des défaillances, comme nous l'avons vu précédemment, vise à déterminer, dans une démarche déductive, les causes d'un évènement indésirable ou redouté retenu a priori. A l'inverse, l'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent, dans une démarche inductive.

A partir d'un évènement initiateur ou d'une défaillance, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention (figure 2.6).

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'évènements est la suivante:

- Définir l'évènement initiateur à considérer,
- Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face,
- Construire l'arbre,
- Décrire et exploiter les séquences d'évènements identifiées.

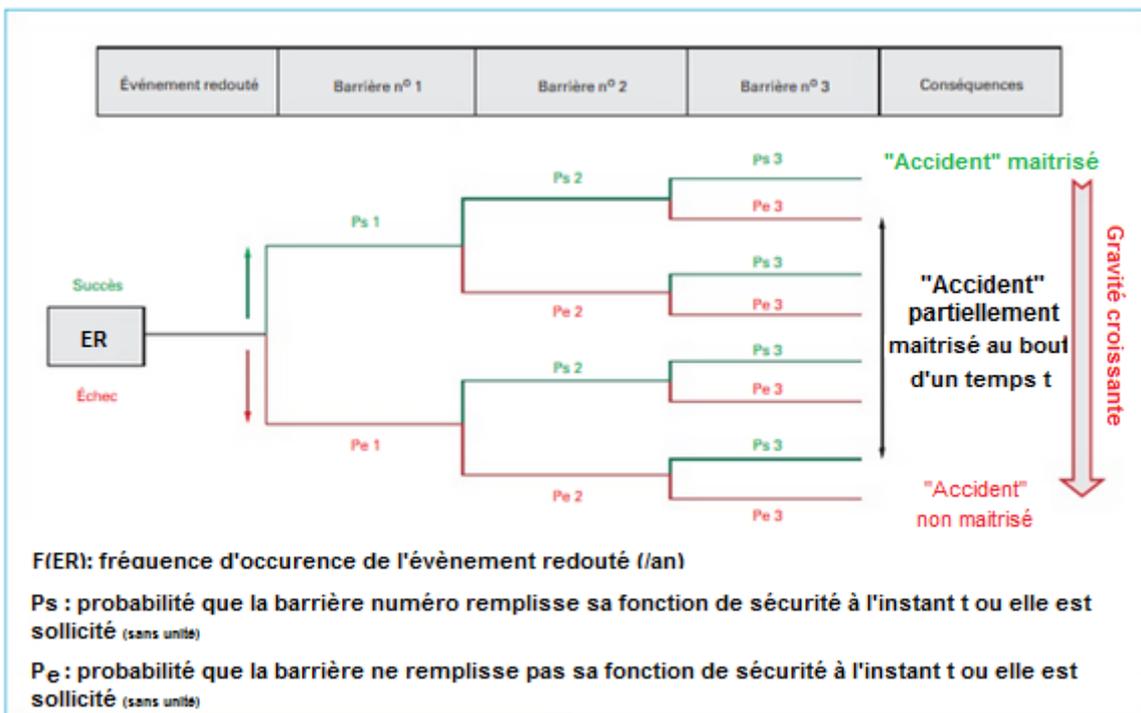


Figure 2.6 : Structure d'un arbre d'événement [15]

- Identification des fonctions de sécurité

Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières ayant pour objectif d'empêcher le processus de matérialisation d'un accident provoqué par un événement initiateur.

Elles se déclinent le plus souvent en :

- Fonctions de détection de l'événement initiateur,
- Fonctions d'alarme signifiant l'occurrence de l'événement initiateur,
- Fonctions de limitation visant à empêcher que l'événement initiateur ne perdure dans le temps.
- Fonction d'atténuation s'attachant à réduire les effets de l'événement initiateur.

Ces fonctions peuvent être réalisées par des dispositifs automatiques ou bien des actions effectuées par des opérateurs conformément à des procédures du travail. Bien entendu, ces fonctions n'interviennent généralement pas simultanément, Il est particulièrement important de déterminer dans quel ordre elles vont intervenir suite à l'événement initiateur. La construction de l'arbre consiste à envisager soit le bon fonctionnement soit le dysfonctionnement de la première fonction de sécurité en partant de l'événement initiateur.

2.3.1.4 Nœud papillon

- Historique et domaine d'application

Le « Nœud Papillon » est une approche probabiliste de la gestion des risques de type arborescente. Le Nœud Papillon est utilisé dans différents secteurs industriels par des entreprises comme SHELL qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils [16].

- Principe du nœud papillon

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'événements représentés de façon un peu différente de celle décrite dans les paragraphes précédents. En donne une représentation schématique sous la forme suivante (figure 2.7) où les barrières sont figurées par des barres verticales.

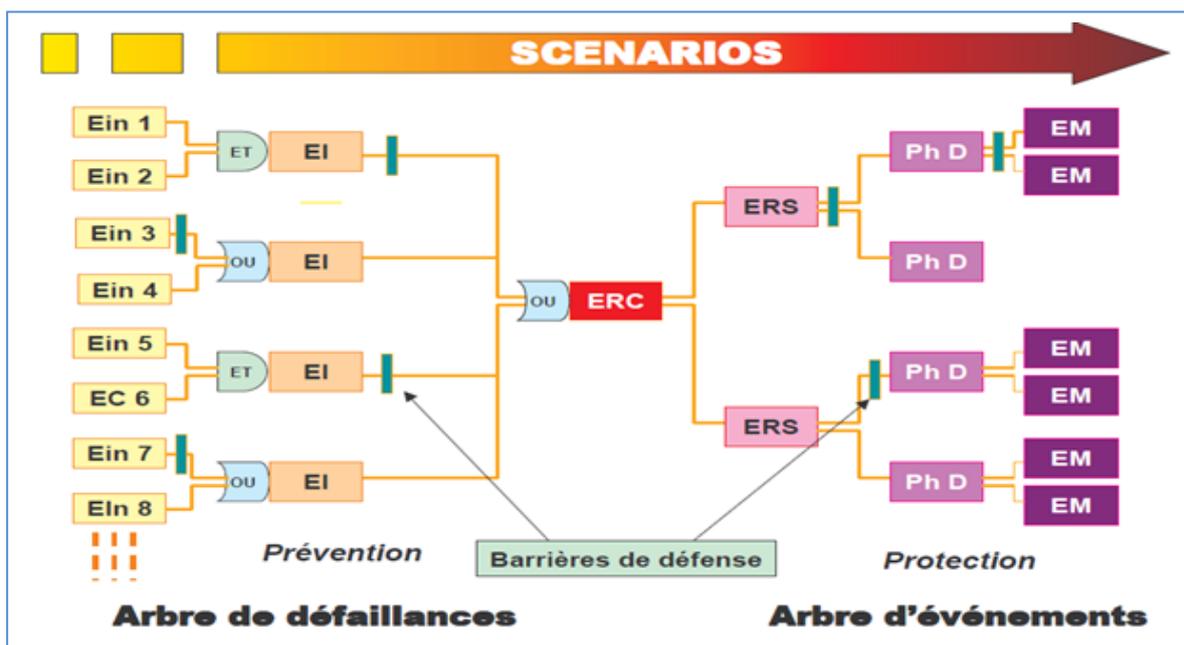


Figure 2.7 : Scénario d'accident représenté en modèle nœud papillon [13]

Tableau 2.2 : Légende des événements du modèle nœud de papillon [13]

Désignation	Signification	Définition	Exemples
<i>EIn</i>	<i>Évènement Indésirable</i>	<i>Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.</i>	<i>Le surremplissage ou un départ d'incendie à proximité d'un équipement dangereux peuvent être des évènements initiateurs</i>
<i>EC</i>	<i>Évènement Courant</i>	<i>Évènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.</i>	<i>Les actions de test, de maintenance ou la fatigue d'équipements sont généralement des évènements courants.</i>
<i>EI</i>	<i>Évènement Initiateur</i>	<i>Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.</i>	<i>La corrosion, l'érosion, les agressions mécaniques, une montée en pression sont généralement des évènements initiateurs</i>
<i>ERC</i>	<i>Évènement Redouté Central</i>	<i>Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse</i>	<i>Rupture, Brèche, Ruine ou Décomposition d'une substance dangereuse dans le cas d'une perte d'intégrité physique</i>
<i>ERS</i>	<i>Évènement Redouté Secondaire</i>	<i>Conséquence directe de l'évènement redouté central, l'évènement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident</i>	<i>Formation d'une flaque ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique</i>
<i>Ph D</i>	<i>Phénomène Dangereux</i>	<i>Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs</i>	<i>Incendie, Explosion, Dispersion d'un nuage toxique</i>
<i>EM</i>	<i>Effets Majeurs</i>	<i>Dommages occasionnés au niveau des éléments vulnérables (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux</i>	<i>Effets létaux ou irréversibles sur la population Synergies d'accident</i>
<i>Barrières ou Mesures de Prévention</i>		<i>Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique</i>	<i>Peinture anti-corrosion, Coupure automatique des opérations de dépotage sur détection d'un niveau très haut...</i>
<i>Barrières ou Mesures de Protection</i>		<i>Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique</i>	<i>Vannes de sectionnement automatiques asservies à une détection (gaz, pression, débit), Moyens d'intervention...</i>

Le point central du Nœud Papillon, appelé ici Évènement Redouté Central (ERC), désigne généralement une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition). La partie gauche du Nœud Papillon s'apparente alors à un arbre des défaillances s'attachant à identifier les causes de cette perte de confinement.

La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet évènement redouté central tout comme le ferait un arbre d'évènements.

- Limites et avantages

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des éléments vulnérables identifiés.

De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques.

En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail.

2.3.2 Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est indispensable pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cours de conception ou en fonctionnement. L'utilisation de cette méthode, par ses caractères systématiques et exhaustifs, représente une garantie formelle pour décomposer une installation industrielle en niveaux fonctionnels et matériels nécessaires pour identifier les modes de défaillances et leurs conséquences sur les objectifs opérationnels retenus pour l'installation ou l'équipement concerné. De nombreuses méthodes d'analyse fonctionnelle ont été mises au point dans le monde depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale et se déduisent des techniques d'analyse de la valeur, développée par L.D. Miles, en 1947, dédiées principalement aux produits nouveaux [17].

L'analyse fonctionnelle consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions.

2.3.2.1 Méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique)

La méthode SADT est une méthode d'analyse fonctionnelle et de conception des systèmes importants et complexes en facilitant la communication entre spécialistes de disciplines différentes.

Elle fournit des outils notamment pour :

- concevoir d'une façon structurée des systèmes vastes ou complexes ;
- communiquer des résultats de l'analyse et de la conception dans une notation claire et précise

- contrôler l'exactitude, la cohérence et, de façon générale, la qualité de manière continue et systématique par des procédures particulières de critiques et d'approbations.

La méthode introduit les concepts suivants :

- les fonctions qui échangent et transforment les données ;
- les données manipulées par les fonctions.

La méthode SADT met en œuvre deux représentations complémentaires :

- Les actigrammes, dans lesquels les fonctions transforment les données d'entrées en données de sortie, suivant les contraintes imposées pour cette transformation et en utilisant certains moyens ou supports de l'activité ;
- Les datagrammes, dans lesquels les données sont générées par des fonctions de génération, utilisées par des fonctions d'utilisation, sous la surveillance des activités de contrôle.

SADT définit une décomposition fonctionnelle hiérarchisée entre les différents niveaux de détail, la décomposition à un niveau donné doit faire apparaître des fonctions ou des données qui sont à leur tour décomposées. Pour la validation, on doit s'assurer que les entrées d'une fonction d'un niveau donné doivent se retrouver dans sa décomposition, et celle-ci ne doit produire que les sorties de la fonction de niveau supérieur [17].

L'accent est porté tout d'abord sur l'analyse et la spécification du « Quoi » (ce que le système doit faire) et ensuite sur les considérations sur le « Comment » (avec quels moyens on réalise le «Quoi »).

SADT utilise un seul type de boîte rectangulaire dont chacun des 4 côtés possède une signification particulière figure 2.8. Un diagramme SADT, pour chaque niveau hiérarchique, est constitué de 3 à 6 boîtes pour que la représentation soit suffisamment détaillée sans être trop complexe. La figure 2.9 représente l'enchaînement des boîtes avec leurs relations entre les entrées, les sorties et les contrôles. Elle donne également un aperçu de la décomposition du bloc 1 à l'aide d'un diagramme de niveau hiérarchique inférieur.

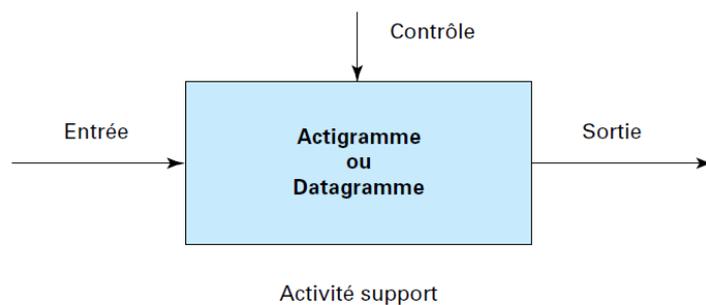


Figure 2.8 : Boîte utilisée par SADT [17]

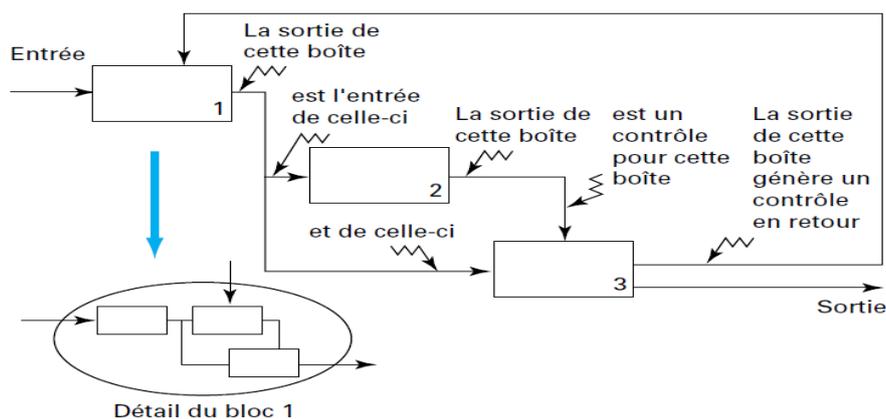


Figure 2.9 : Diagramme type SADT avec détail sur le niveau inférieur [17]

Après avoir passé en revue de l'ensemble des méthodes d'analyse des risques choisis, à savoir :

- ✓ SADT : Nous permet de formaliser les liens entre les sous-systèmes formants la cimenterie et localiser nos deux ER.
- ✓ APR : Va nous permettre de vérifier nos deux ER au niveau des équipements critiques.
- ✓ AdD : Permet l'estimation de la probabilité d'ER et ses causes.
- ✓ AdE : Va nous permettre de déterminer les événements et les conséquences les plus catastrophiques.
- ✓ Nœud de papillon : Permet de déduire les différents scénarios d'accidents.

Le prochain chapitre sera consacré à l'application de ces méthodes dans la partie ciblée dans notre étude.

Chapitre III

APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

Chapitre III APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

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 de ces méthodes (APR, ADD, ADE et Nœud de papillon), ainsi que les résultats obtenus et les recommandations qui en découlent.

3.1 Analyse préliminaire des risques (APR)

Les deux ER (Perte de flamme (PF), Ratage d'allumage (RA)) sont connus dans l'industrie de ciment. Il y a lieu de les vérifier dans l'installation de LAFARGE de M'sila. Pour ce faire, une APR va être élaborée.

Pour dérouler l'APR, il a été judicieux de décider de faire une analyse fonctionnelle par la méthode SADT.

L'SADT vas nous renseigner sur la fonctionnalité de mon système (cimenterie) et les fonctions de ces sous-systèmes.

Cette démarche a été retenue car la nature des deux ER (PF et RA) est très complexe pour comprendre la survenue de tel évènement.

Il est claire que le siège des deux ER peuvent ne pas être les seules responsable, d'où la nécessité d'explorer les sous-systèmes en relation avec le dite siège.

3.2 Identification des systèmes

Le déploiement de la méthode fait appel lors de son amorçage à une analyse fonctionnelle par la méthode SADT, 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.

3.2.1 Analyse fonctionnelle par la méthode SADT

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) est présentée comme méthode de spécification fonctionnelle des systèmes qui entre dans le cadre du domaine de la sûreté de fonctionnement elle sera appliquée dans notre cas dans le but de d'écrire le système et le décomposer et définir ses principales fonctions ainsi les interactions entre elles.

La description technique précédente nous a permis de déduire :

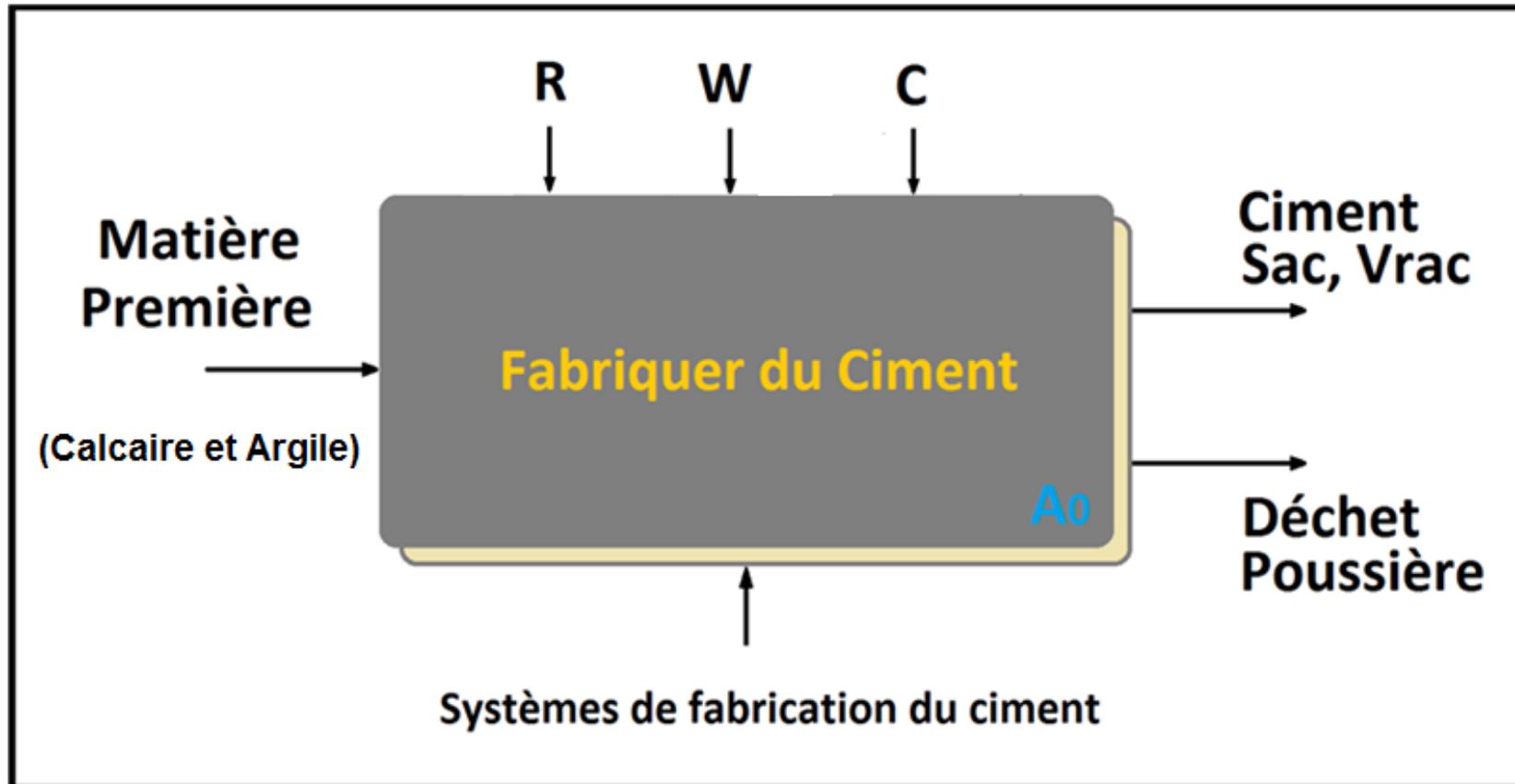
- Système A_0 : Fabrication du ciment.
 - Sous-système A_1 : Préparation du cru.
 - Sous-système A_2 : Cuisson de la farine.
 - Sous-système A_3 : Production du ciment.
- **Formalisme A_0** : représente la boîte mère ou bien la boîte qui symbolise l'unité de la fabrication du ciment qui regroupe tous les paramètres qui participent à la réalisation de cette tâche.

Nous avons décomposé le système A_0 en trois sous-systèmes « A_1 , A_2 , A_3 » qui constituent une grande importance dans la fabrication du ciment.

- **Formalisme A_1 (Préparation du cru)** : Le sous-système « A_1 » est décomposée en quatre autres sous-systèmes (A_{1-1} , A_{1-2} , A_{1-3} , A_{1-4}).
- **Formalisme A_3 (Production du ciment)** : Le sous-système « A_3 » est décomposée en trois autres sous-systèmes (A_{3-1} , A_{3-2} , A_{3-3}).

Dans le paragraphe suivant nous allons traiter en détaille le sous-système A_2 qui va faire l'objet d'une analyse fonctionnelle SADT et un découpage fonctionnelle vue sa complexité, sont importance dans la fabrication du ciment et le potentiel de danger qu'il représente.

- **Formalisme A_2 (Cuisson de la farine) :** Le sous-système « A_2 » est décomposée en trois autres sous-systèmes (A_{2-1} , A_{2-2} , A_{2-3}) :
 - Sous-système A_{2-1} : - l'entrée de la farine avec une température 80 °C.
 - la sortie farine préchauffée à une température 900 °C.
 - Sous-système A_{2-2} : - l'entrée de la farine préchauffée à une température 900 °C.
 - la sortie du clinker à une température 1450 °C.
 - Sous-système A_{2-3} : - l'entrée du clinker à une température 1450 °C.
 - la sortie du clinker à une température 100 °C.
- **Formalisme A_{2-1} (préchauffage de la farine cru) :** Le sous-système « A_{2-1} » est décomposée en trois autres sous-systèmes (A_{2-1-1} , A_{2-1-2} , A_{2-1-3}) qui constituent les trois sous-systèmes important dans le préchauffage de la farine cru.
- **Formalisme A_{2-2} (cuire la farine) :** Le sous-système « A_{2-2} » est décomposée en trois autres sous-systèmes (A_{2-2-1} , A_{2-2-2} , A_{2-2-3}) qui constituent les trois sous-systèmes important dans la cuisson de la matière.
- **Formalisme A_{2-3} (refroidissement du clinker) :** Le sous-système « A_{2-3} » est décomposée en deux autres sous-systèmes (A_{2-3-1} , A_{2-3-2}) qui constituent les deux sous-systèmes important dans le refroidissement du clinker.



R : Réglage de température, pression et de débit.

W : Énergie électrique, calorifique et pneumatique.

C : Contrainte d'exploitation nécessaire en fonctionnement (les différents contrôles effectuer)

Figure 3.1: Modèle SADT de la fabrication du ciment

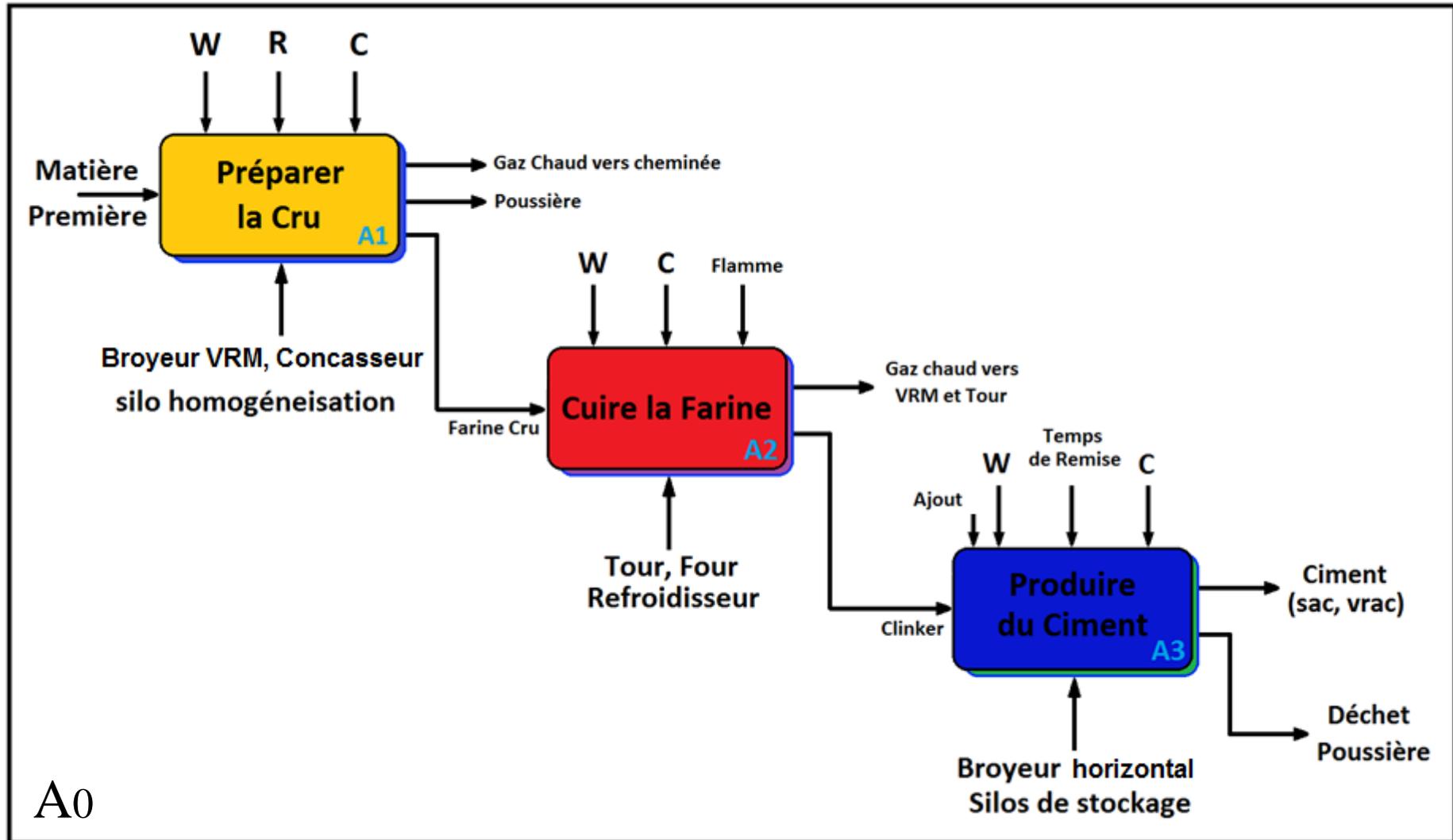


Figure 3.2 : Modèle SADT détaillé de la fabrication de ciment

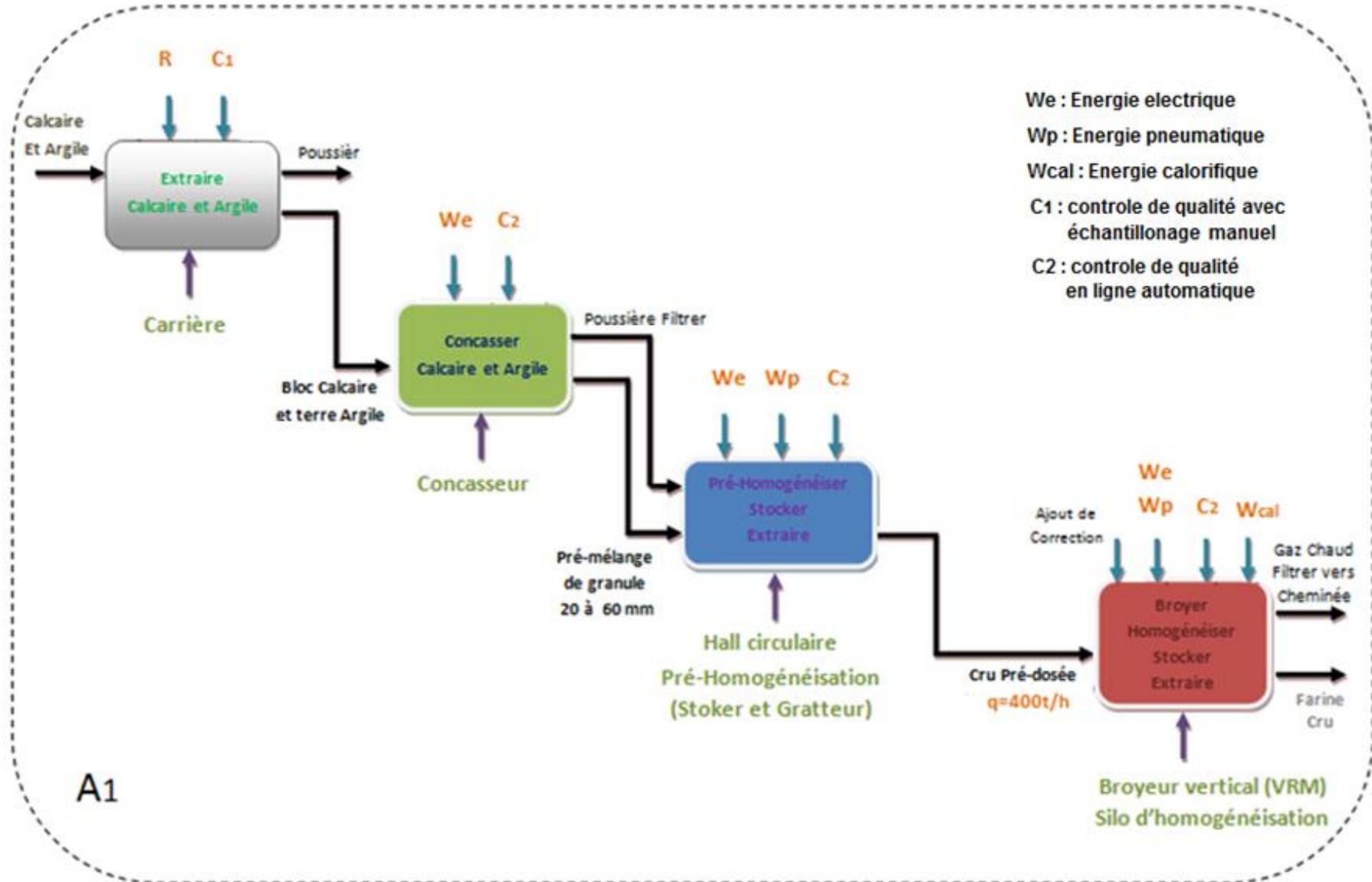


Figure 3.3 : Modèle SADT détaillé de la préparation de cru

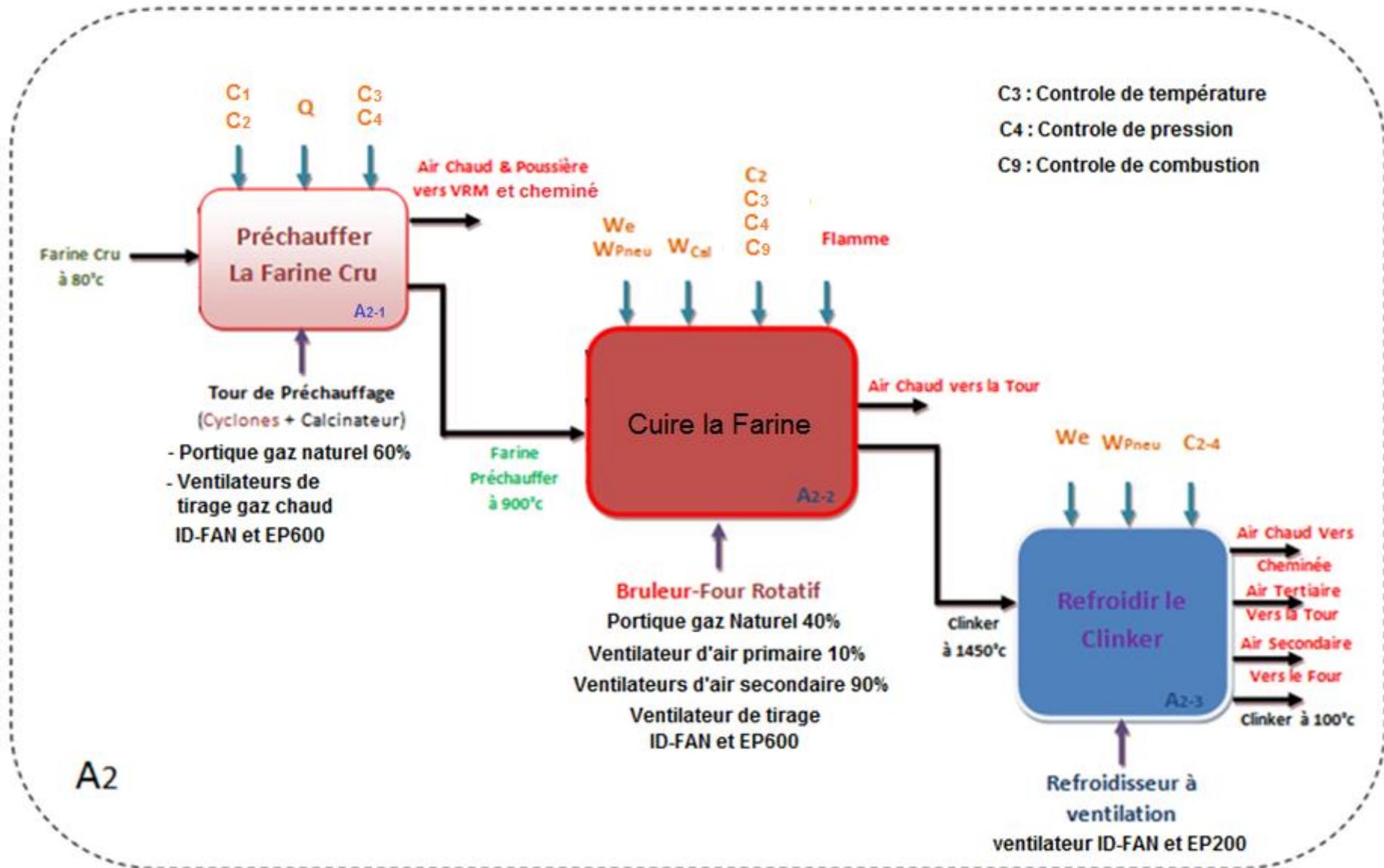


Figure 3.4 : Modèle SADT détaillé de la cuisson de farine

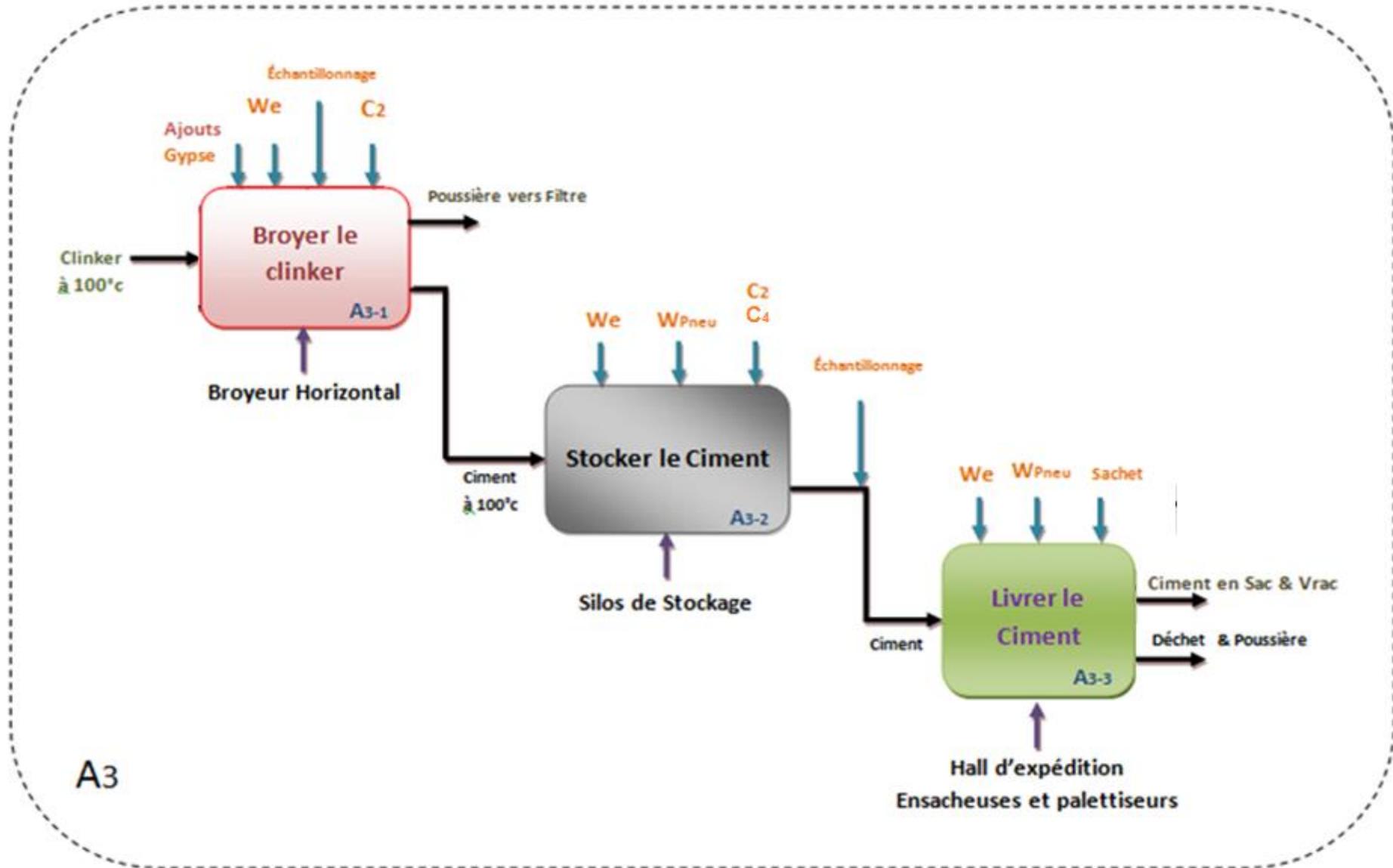


Figure 3.5 : Modèle SADT détaillé de la production du ciment

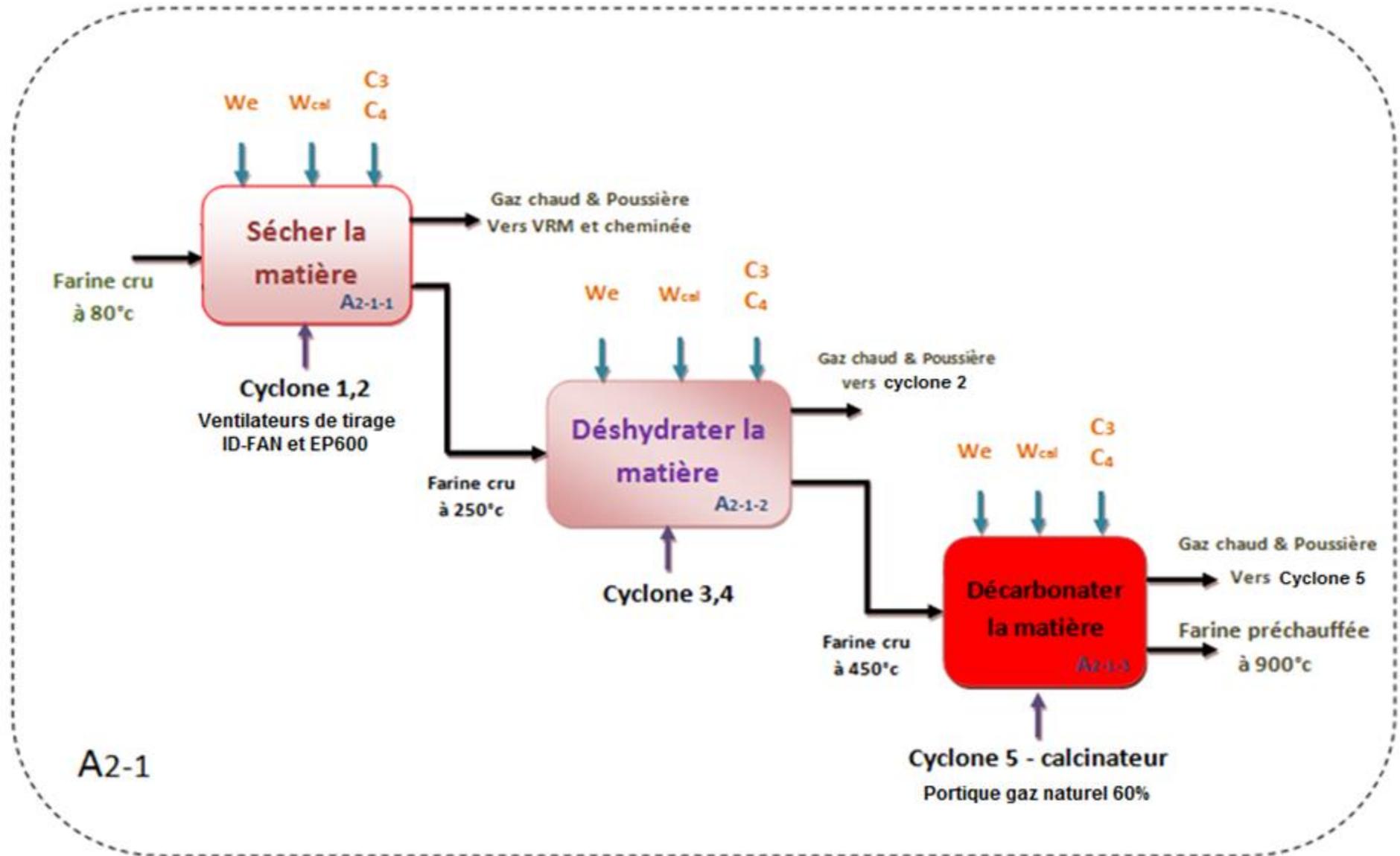


Figure 3.6 : Modèle SADT détaillé de préchauffage de la farine

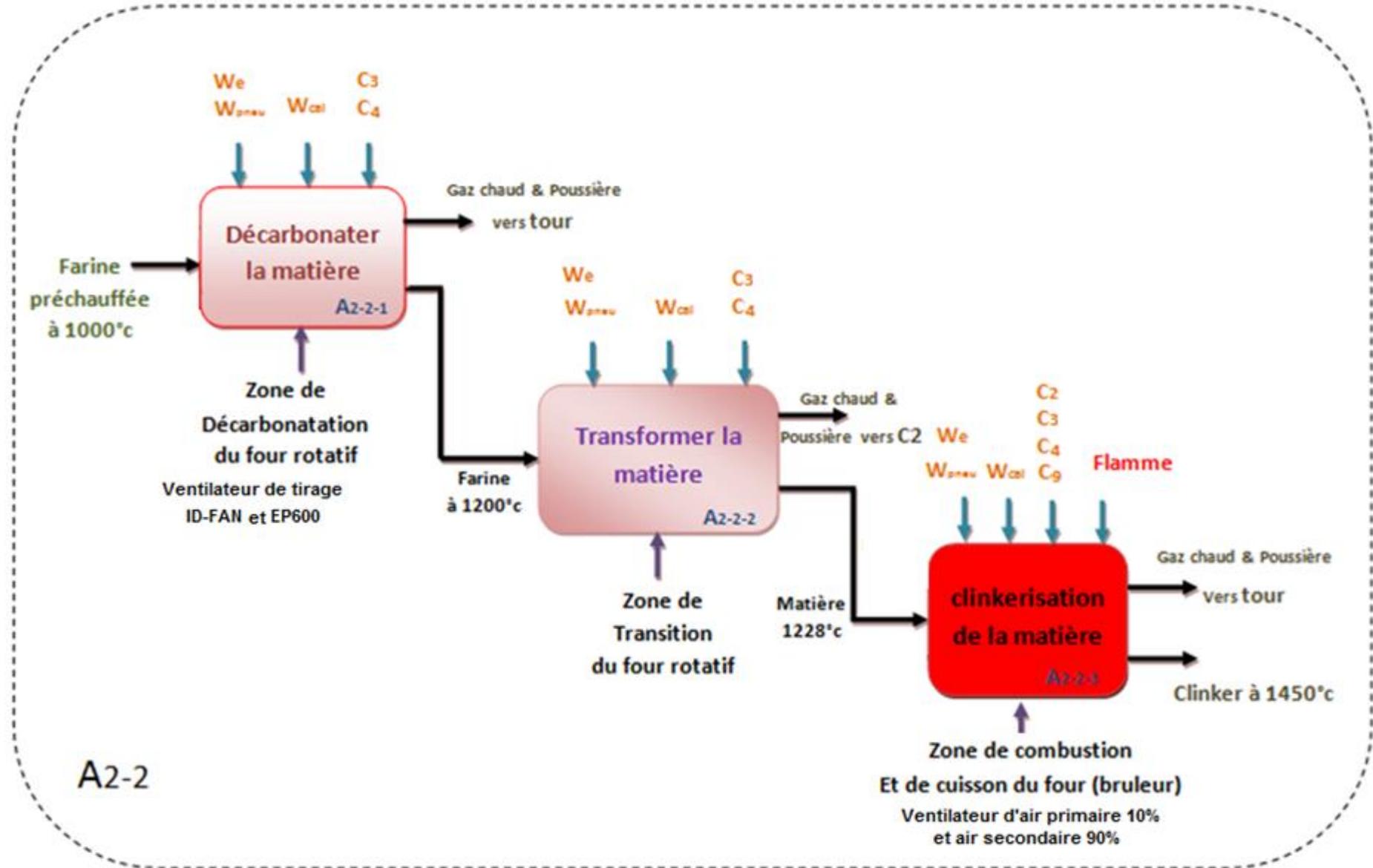


Figure 3.7 : Modèle SADT détaillé de la cuisson de farine

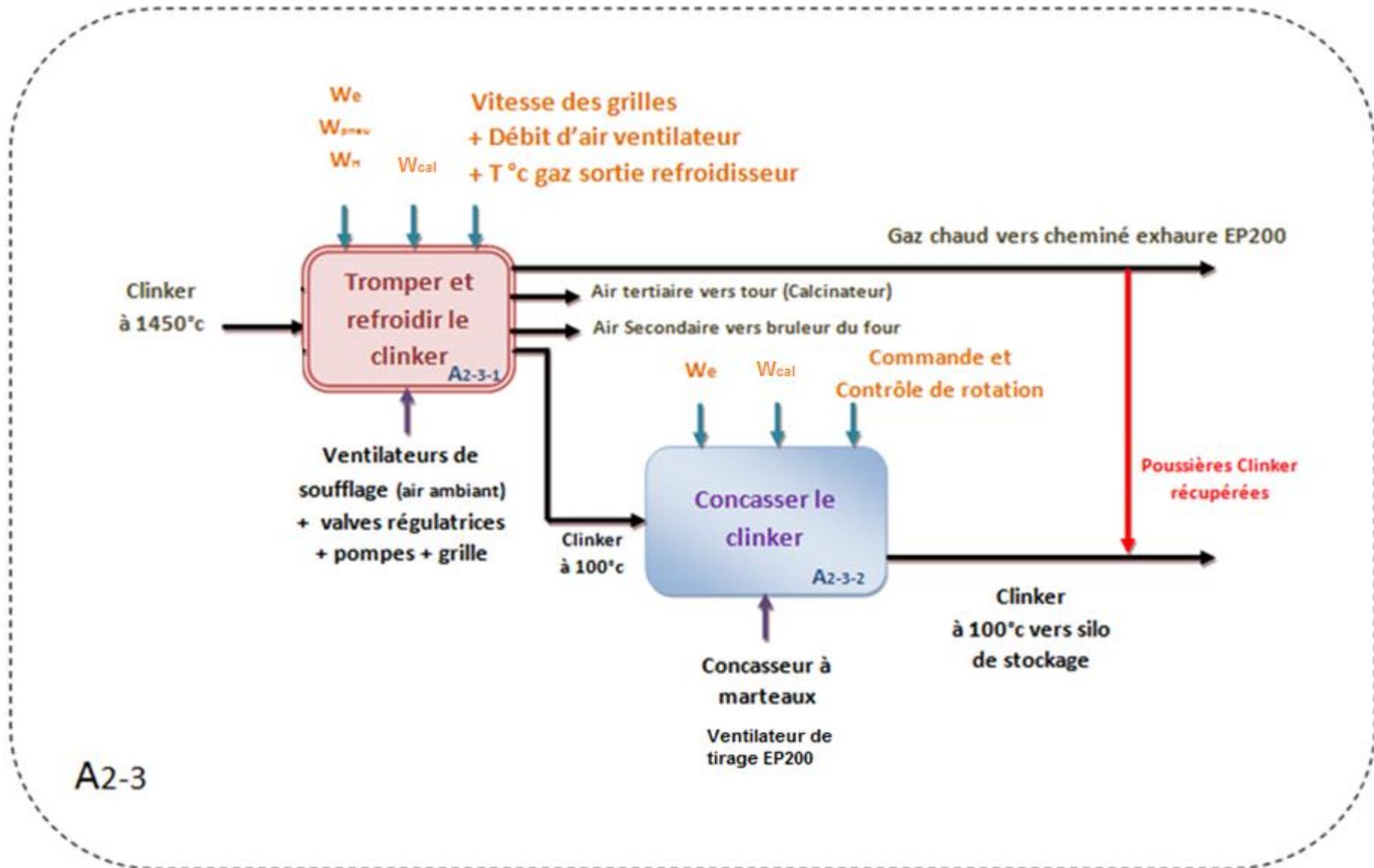


Figure 3.8 : Modèle SADT détaillé du refroidissement du clinker

3.2.1.1 Commentaires sur la décomposition fonctionnelle

Nous venons de définir clairement à travers l'analyse fonctionnelle (SADT) notre système et de délimiter les sous-systèmes qui nous intéressent dans notre étude.

Ce modèle élaboré dans cette phase d'analyse fonctionnelle sert de base pour l'élaboration de l'analyse des dysfonctionnements de notre système.

3.2.2 Découpage fonctionnelle

Le découpage fonctionnel nous a permis 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. Cela nous a permis d'acquérir forcément une connaissance approfondie de l'installation et de n'en négliger aucune partie.

Les trois sous-systèmes identifiés dans un premier temps au niveau de la ligne de cuisson :

- Sous-système 1 de préchauffage du cru.
- Sous-système 2 de cuisson de la farine.
- Sous-système 3 de refroidissement de clinker.

Et les deux sous-systèmes identifiés au niveau des ventilateurs de tirage des gaz brûlés puisque toute l'installation est mise sous pression :

- Sous-système 4 de tirage ID-FAN.
- Sous-système 5 de tirage EP-FAN (EP200, EP600).

Ces cinq sous-systèmes sont représentés dans la figure 3.9 :

3.2.2.1 Sous-Système N°1 : Préchauffage

- **Fonction principale** : Préparation de la matière (farine cru) avant l'entrée au four au niveau de la tour de préchauffage.
- **Fonctions 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 3.10 [26].

Le processus de préchauffage suit les étapes suivantes :

- 1- Evaporation de l'eau à l'état libre (T° 100°C).
- 2- Déshydratation de l'eau des argiles (T° comprise entre 250°C et 450°C).
- 3- Décarbonatation de la magnésie (T° comprise entre 450°C et 620°C)



Figure 3.10 : Tour de préchauffage

✓ 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
- 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 ».

- 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 3.11

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.

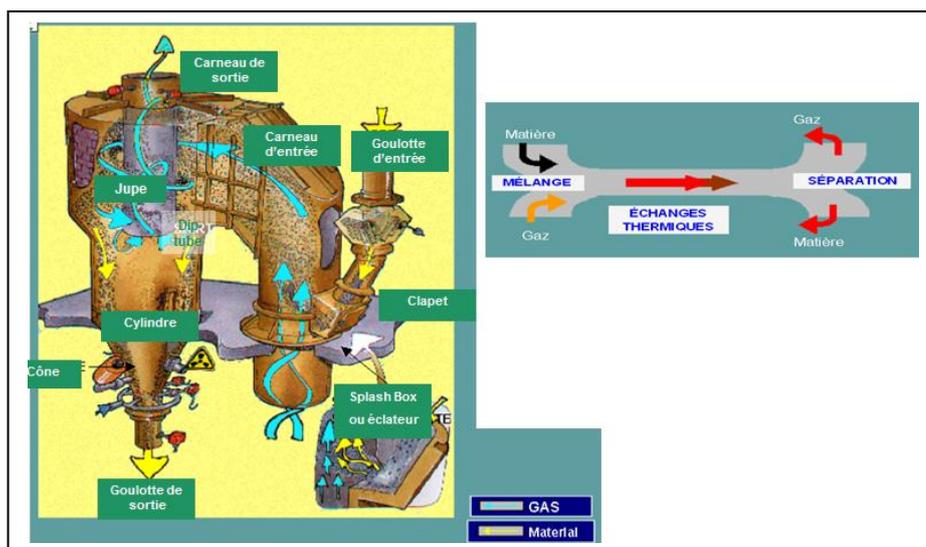


Figure 3.11 : Cyclone [26]

✓ 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 3.12).



Figure 3-12 : Clapet papillon [26]

✓ 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 (figure 3.13).

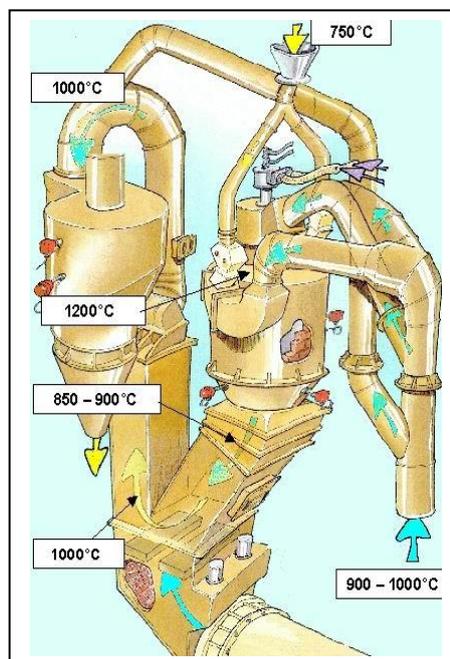


Figure 3.13 : Précalcinateur [26]

✓ 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 3.14.



Figure3.14 : Matériel de mesure (thermocouple et manomètre) [26]

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 d' 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 (figure3.15).



Figure 3.15 : Disposition des air-chocs au niveau du calcinateur [26]

Les composants du sous-système de préchauffage sont représentés dans la figure 3.16:

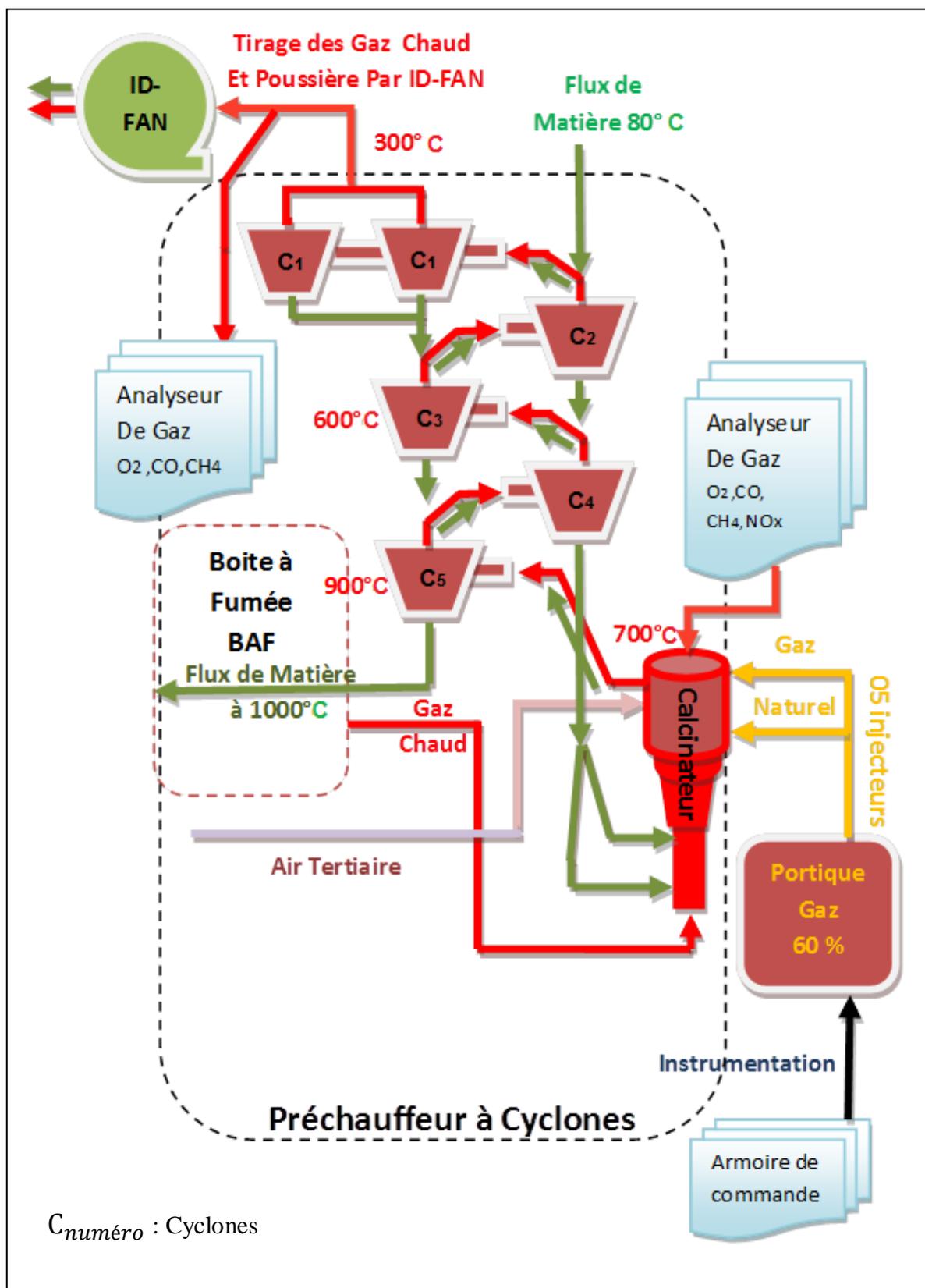


Figure 3.16 : Composant de la tour de préchauffage

3.2.2.2 Sous-Système N°2 : Four de cuisson

- **Fonction principale** : C'est la pièce maîtresse de la cimenterie Il a pour rôle de transformer la matière préparée dans la tour en clinker en la portant à une température allant de 1000°C à 1450°C .
- **Fonctions intermédiaires** : le composant principal qui assure la mission du système est le four qui est divisé en 03 parties (figure 3.17) :
 - La zone de décarbonatation (appelée aussi zone de transition) : c'est la zone à l'entrée du four, qui correspond à la phase de déshydratation de la farine crue, c'est à ce niveau qu'il y a passage de la farine de son état liquide à l'état solide.
 - La zone de cuisson : c'est la zone la plus importante et la plus chaude du four. En effet, la température de cette zone peut dépasser 1500 °C, ce qui permet la combinaison de $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ (ou C_2S) avec la chaux libre pour donner les cristaux de $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ (ou C_3S).
 - La zone de clinkérisation : les cristaux issus de la zone de cuisson poursuivent leur chemin et grossissent et granulent, formant ainsi du clinker. La chaleur nécessaire pour la réalisation de ces réactions est assurée par la combustion du gaz naturel. La rotation et l'inclinaison du four permettent la progression de la matière.

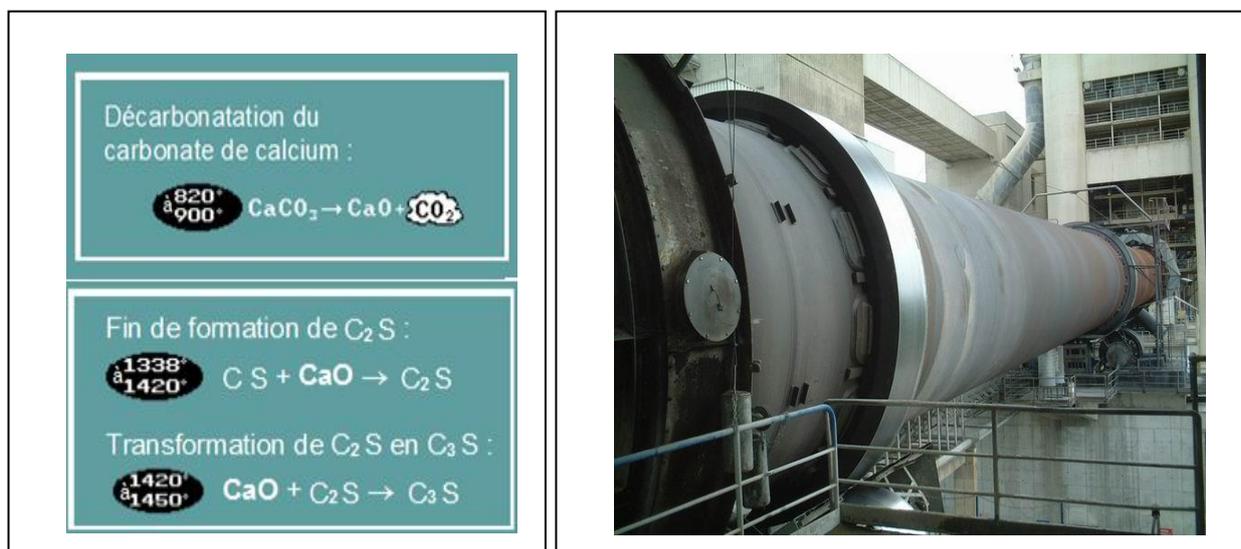


Figure 3.17 : Four rotatif [26]

- Équipements

- ✓ **La virole** : qui assure les échanges thermique entre la matière et les gaz chaud issu de la combustion du gaz naturel de la tuyère et les transformations de la matière à température élevé.
- ✓ **Moteur principal** : qui assure la rotation du four à une vitesse variable en marche normal (four alimenté)
- ✓ **Vireur** : qui assure la rotation du four à une petite vitesse constante (chauffage et refroidissement)
- ✓ **La Couronne** : pignon qui sert à la transmission du mouvement du moteur vers le four.
- ✓ **Joint amont** : un joint métallique qui assure la connexion entre la tour de préchauffage et la virole
- ✓ **Joint aval** : un joint métallique qui assure la connexion entre la virole et le refroidisseur
- ✓ **La butée hydraulique** : est un ensemble vérin hydraulique et butée, qui a pour but soit de garder la position axiale du four.
- ✓ **Les galets** : sont des formes cylindriques d'acier pleines, jouant le rôle de support du four.
- ✓ **Capteurs**
 1. **Température** :indication de la température des paliers.
 2. **Position** : indication de la position axiale du four.
- ✓ **Palier+ coussinet** : support pour les axes de galet et assurer la lubrification par un film d'huile.
- ✓ **Le bandage** : un anneau métallique à section rectangulaire sert à l'appui de la virole.
- ✓ **Le bruleur** :un équipement de forme cylindrique garnier a l'exterieur de réfractaire qui contient a l'interieur une tuyère utilisé lors de la combustion du gaz naturel.La combustion se fait par insuflation de 10 % d'air (air primaire) nécessaire pour la combustion , l'air primaire est insufflé à une pression allant jusqu'à 250 mbar , ce qui donne une vitesse maximum d'insufflation d'environ 200 à 210 m/sec .Les 90 % d'air introduite dans le four (air secondaire) vienne du refroidisseur (figure 3.18).

- ✓ **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 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une pression nominale de 7 bars schéma des fluides figure B.1 et figure B.2 en (Annexe B).

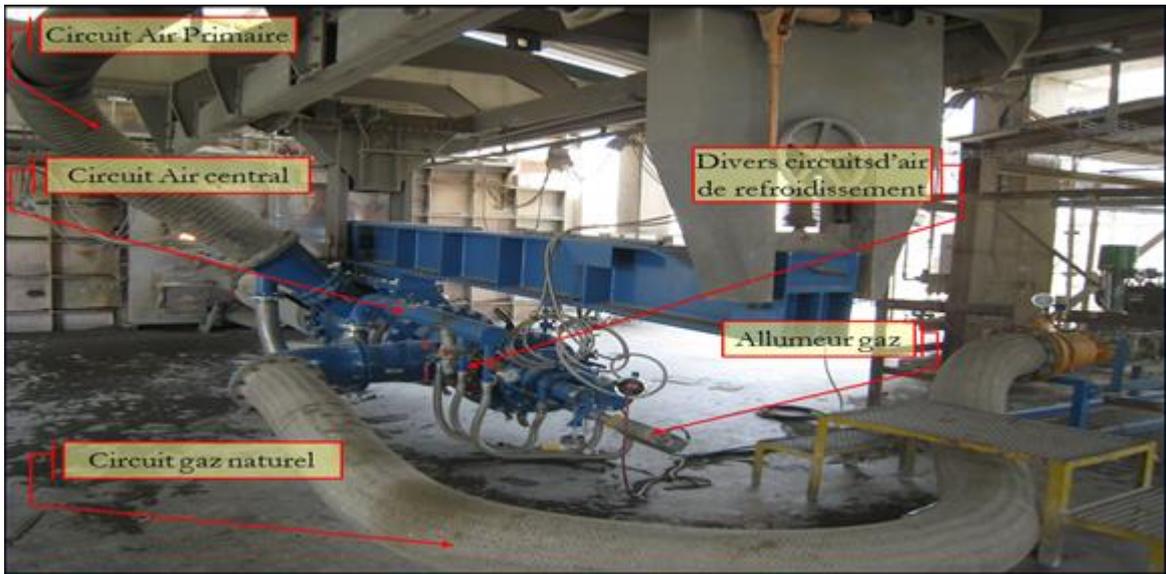


Figure 3.18 : Alimentation en air et gaz au bruleur [26]

- ✓ **Tuyère :** La tuyère combine un réglage simplifié d'air pour assurer la combustion :
 - Le swirl est ajustable en manœuvrant l'embout d'air radial en conservant une impulsion spécifique constante (pas de variation de quantité d'air).
 - L'impulsion spécifique est réglable par l'ajustement de la pression d'air primaire entrée tuyère (figure 3.19).

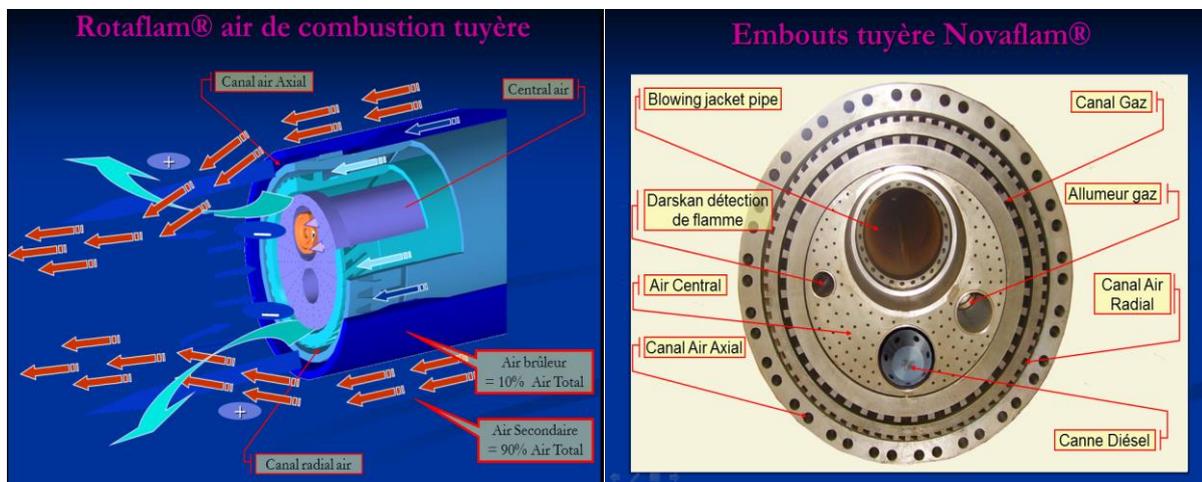


Figure 3.19 : Schéma de la tuyère [26]

A l'intérieur de La tuyère en distingue les éléments suivants:

- ✓ 02 Fausses canes (pour utilisation future d'autre combustible)
- ✓ 02 Canes pour l'allumeur et le détecteur de flamme.
- ✓ Canaux d'air radial, axial et central.
- ✓ Canal de gaz naturel.

3.2.2.3 Sous-Système N°3 : Refroidissement

- **Fonction principale** : refroidir le clinker après la cuisson au niveau du four
- **Fonctions 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.
 - 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 injecteurs du calcinateur (air tertiaire).

- Entrées

- Matière cuite du four (clinker) à environ 1450 C°, qui se déverse dans le puit d'entrée.
- Air à température ambiante, pour le refroidissement et l'alimentation du brûleur (Air secondaire).

- 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.

- Équipements

✓ Refroidisseur

Le refroidisseur est un échangeur thermique. Le type de refroidisseur présent à l'usine de Msila est un refroidisseur à grilles mobiles, illustré sur la figure 3.20 . Il est alimenté à très haut débit en air par 9 ventilateurs. Nous pouvons diviser le refroidisseur en deux parties :

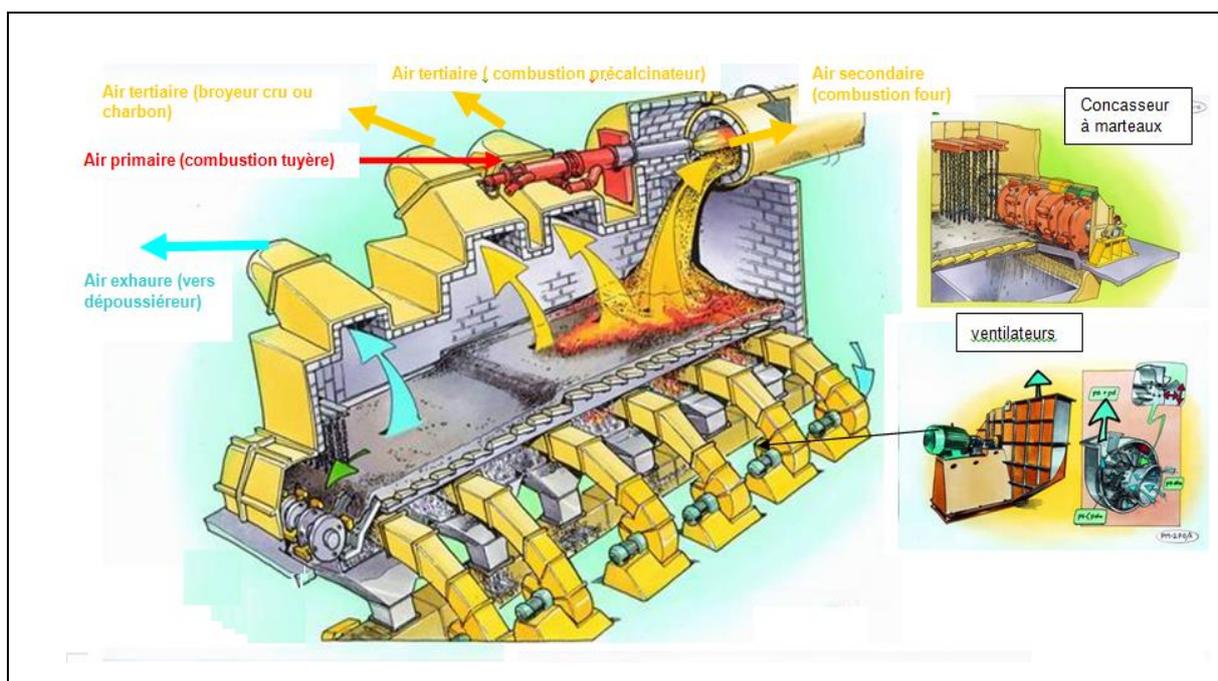


Figure 3.20 : Refroidisseur à grilles mobiles [26]

- **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.

✓ Station de pompage d'huile

La station comporte 5 pompes d'huile figure 3.21 qui servent au fonctionnement du système hydraulique des grilles mobiles du refroidisseur.



Figure 3.21 : Pompes à huile [26]

Les composants du sous-système de refroidissement sont représentés dans la figure 3.22:

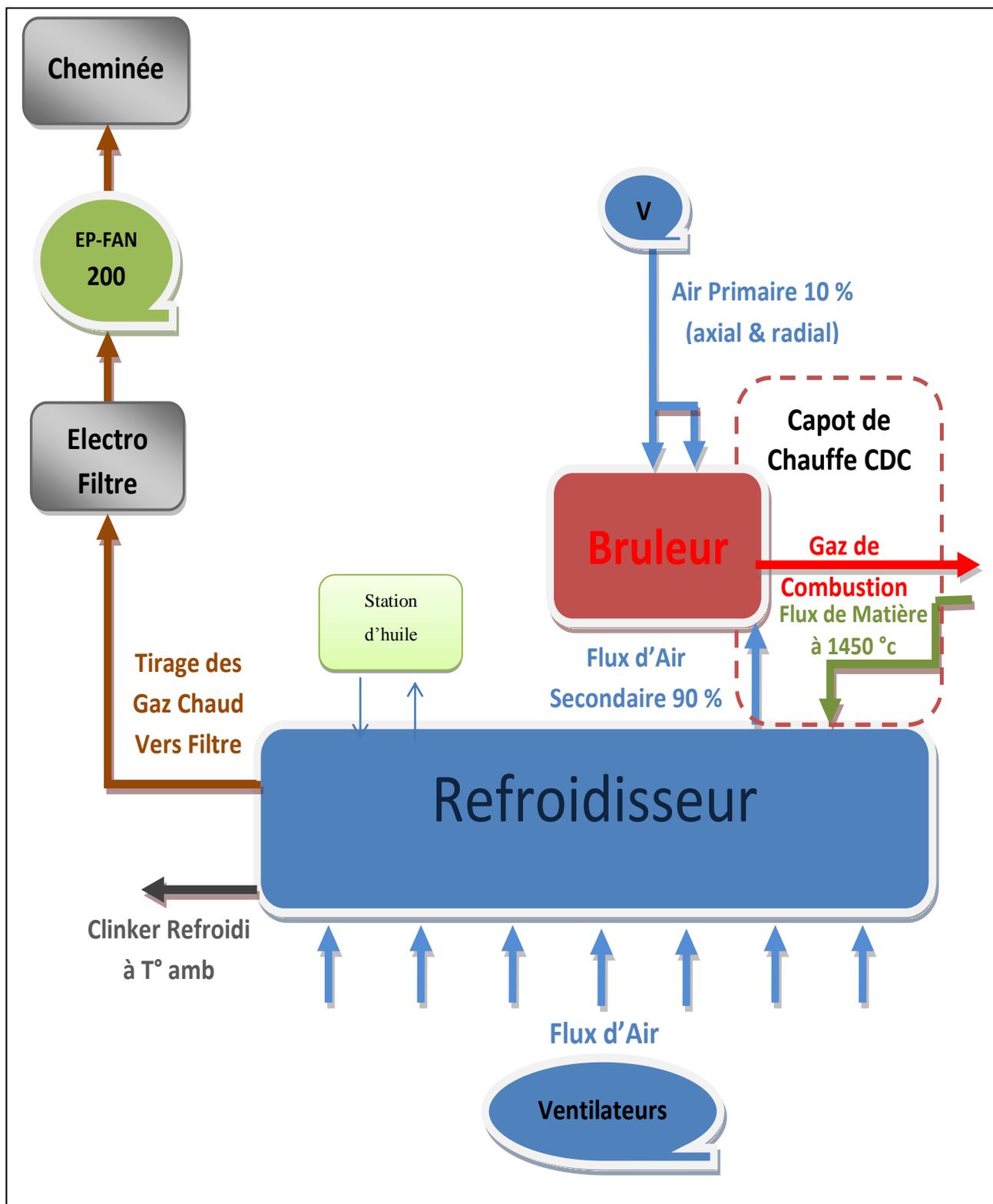


Figure 3.22 : Composant du sous-système refroidissement

3.2.2.4 Sous-Système N°4 : Ventilateur « ID FAN »

- **Fonction principale :**
 - Assurer le tirage des gaz du four dans la tour de préchauffage (figure 3.23).
- **Fonction 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 3.23 : Vue de l'extérieure de L'ID-FAN [27]

- **Équipements**

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

- ✓ **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.

- Schématisation du ventilateur

les composants du ventilateur « ID FAN » et les flux qui le traversent peut être schématisé dans la figure 3.24.

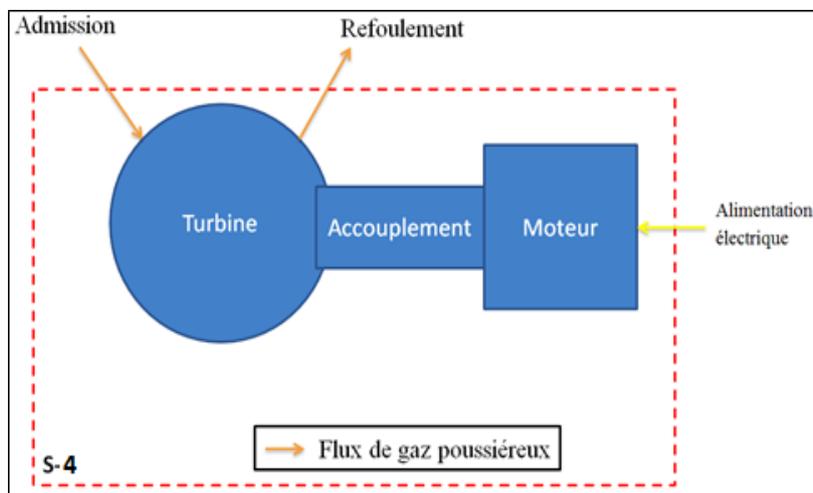


Figure 3.24 : Schéma des sous-systèmes composant l'ID FAN [27]

3.2.2.5 Sous-Système N°5 : Ventilateurs « EP FAN 200 et 600 »

- Fonction principale :

EP 600 : Assurer le tirage des gaz de l'électrofiltre du côté tour de conditionnement vers la cheminée.

EP 200 : Assurer le tirage des gaz de l'électrofiltre du côté refroidisseur vers la cheminée (Exhaure).

- Fonction intermédiaires : Assurer la dépression de l'air pendant la procédure d'allumage.

- Entrée :

- Les gaz filtré provenant de la tour de conditionnement (EP 600).
- Les gaz filtré provenant du refroidisseur (EP 200).

- Sortie :

- Gaz refoulés vers la cheminée.

- Équipements

- ✓ **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.

3.3 Application de la méthode APR

L'APR, consiste à identifier les éléments dangereux présents dans le système étudié et à examiner ces causes et ces conséquences.

Elle permet ainsi, de mettre en exergue le sous-système qui fera l'objet d'une analyse détaillée avec les méthodes dite intégrée.

3.3.1 Critère d'évaluation de la criticité

Pour le déroulement de l'APR, nous avons élaboré une matrice d'évaluation des risques dans la zone de cuisson ciblée par notre projet, qui nous permet de confirmer nos deux ER.

- Elaboration de la matrice de risque

La grille de cotation de probabilité et de gravité (Tableau A.1), (Tableau A.2), (Tableau A.3) et (Tableau A.4) en (Annexe A) a été choisi de l'INERIS, ensuite nous avons négocié ces mêmes grilles avec les cadres de l'usine de LAFARGE, les responsables de production, procès, maintenance et le responsable de l'HSE. De même de ces sources de travail nous ont fournis les données de risque dans le cadre de l'APR, aussi que l'évolution des barrières de prévention et de protection existante.

- Déploiement des résultats

Le déploiement de la méthode s'est fait à l'aide du tableau A.5 de l'APR en (Annexe A), qui résume toutes les étapes suivies pour faire ressortir les évènements redouté qui peuvent affecter le fonctionnement de la ligne de cuisson.

Les pourcentages de chaque niveau de risque relatifs à toutes les installations étudiées de la ligne de cuisson dans l'APR sont donnés dans le tableau 3.1.

Le résultat nous indique les installations qui présentent des risques critiques et cela même après mise en place des mesures de prévention et de protection.

Tableau 3.1 : Pourcentages de chaque niveau de risque.

Catégorie du risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
Risques résiduel (acceptable)	20	59
Risques tolérables (ALARP)	12	35
Risques inacceptable	02	06
Total	34	100

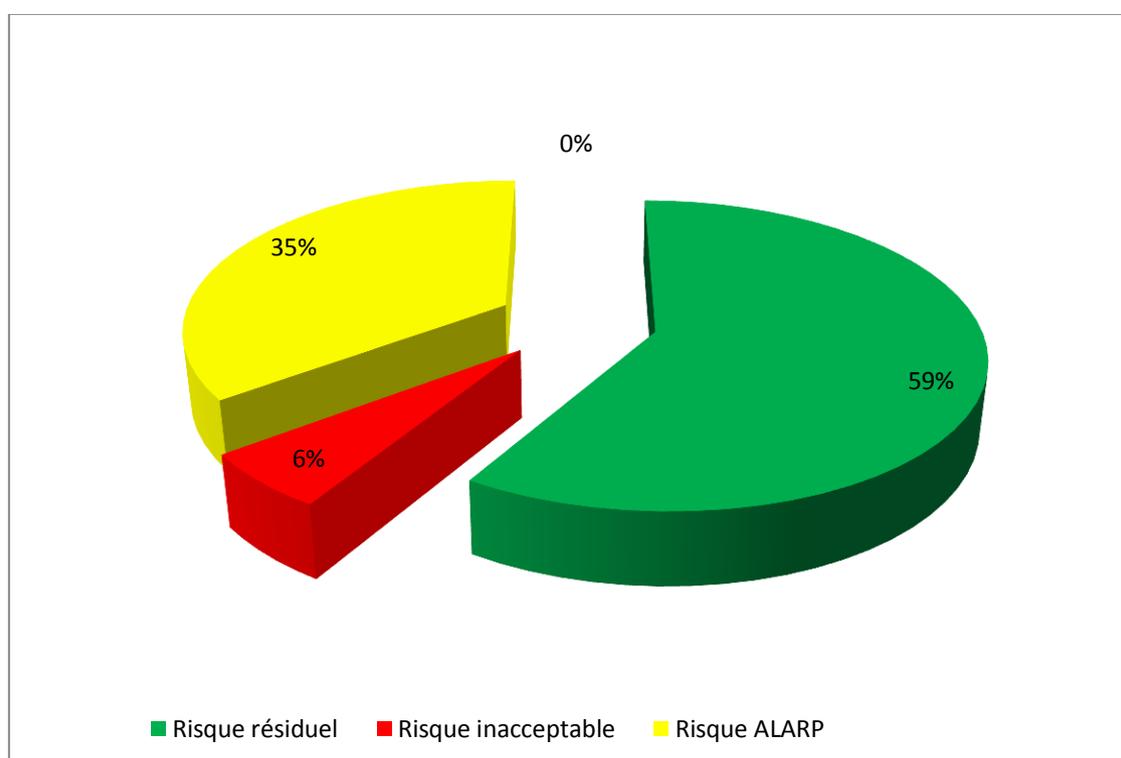


Figure 3.25 : Répartition des ER en fonction de leurs classifications de la ligne de cuisson.

✓ **Interprétation**

Il est bien apparent que la plus grande partie des risques estimés à 59% se trouve dans la catégorie des risques acceptables. Ceci est dû aux mesures de préventions et aux mesures de protection opérationnelles mises en place dans l'usine (ligne de cuisson), plus particulièrement, les équipements de détection automatisés utilisés pour contrôler et vérifier le bon fonctionnement des équipements.

Les risques tolérables occupent 35% des risques recensés, ceci est lié à la complexité des équipements et aussi à la nature des produits. Par contre les risques inacceptables occupent la plus petite portion avec 6% du à l'utilisation du gaz naturel pour la combustion dans le four et le calcinateur.

✓ **Première évaluation**

Dans un premier temps nous avons évalué les risques sans prendre en compte les barrières de sécurité mises en place et nous avons abouti à une matrice de criticité des 05 sous-systèmes représentée dans le tableau A.1 en (Annexe A).

✓ **Interprétation**

Selon les résultats de la répartition des risques tirés de l'APR, nous avons ressorti 02 événements redoutés induisant des risques critique (explosion; incendie) et qui sont le ratage d'allumage et la perte de flamme dans la ligne de cuisson ainsi que dans d'autres équipements jugés critique (05 sous-systèmes) et ceux d'une façon directe ou indirecte les sous-systèmes sont :

Tableau 3.2 : Synthèse de l'APR

S/système	Intitulé	Synthèse de l'APR
1	Tour de préchauffage	La perte de confinement dans le calcinateur et le bourrage des cyclones peut causer indirectement la perte de la flamme dans le four.
2	Four de cuisson	-La fissure brusque dans le réfractaire du bruleur et la combustion incontrôlée peut causer indirectement la perte de la flamme et le ratage d'allumage dans le four. -Toute anomalie dans le bruleur cause directement la perte de flamme ou le ratage d'allumage.

S/système	Intitulé	Synthèse de l'APR
3	Refroidisseur	-La Fuite de clinker dans la chaîne trainante (coté conduite d'air chaud vers l'électro-filtre) peut causer indirectement la perte de flamme et le ratage d'allumage dans le four. -L'arrêt des ventilateurs de refroidissement peut causer indirectement la perte de flamme dans le four.
4	Ventilateur ID-FAN	-L'arrêt brusque du ventilateur peut causer indirectement la perte de flamme et le ratage d'allumage dans le four.
5	Ventilateurs EP-FAN	-L'arrêt brusque de l'un des deux ventilateurs peut causer indirectement la perte de flamme et le ratage d'allumage dans le four.

✓ Deuxième évaluation

Nous avons réévalué les risques en prenant en considération les barrières de prévention et/ou de protection et nous aboutissons à une nouvelle matrice de criticité sur laquelle nous avons positionné les différents risques présentés dans le (tableau A.5) en (Annexe A).

✓ Interprétation

Après déroulement de l'APR nous constatons ce qui suit :

Avec la prise en considération des barrières de prévention et ou de protection force de constater que la majorité des risques dans la ligne de cuisson de l'usine sont responsables indirectement de la survenue des deux événements redoutés mais situer sur la limite des risques ALARP (zone jaune en figure 3.25), seul le système four qui reste situer dans la zone à risque majeur, ainsi, la survenue de ces deux événements redoutés peut provoquer une explosion d'une grande ampleur avec des arrêts de longue durée causant des pertes financière évalué à 7.2 milliard de DA /jour.

3.4 Application de la méthode ADD

L'application de APR nous a permet de dire que 6% des risques dans la ligne de cuisson est inacceptable, ce qui nécessite de pousser l'analyse en appliquant la méthode « Arbre des Défaillances » comme une deuxième méthode d'analyse des risques classique, et qui va nous

permettre de déterminer les causes intermédiaires et initiale de l'évènement redouté et sa probabilité finale.

Les ER que nous avons confirmés sont :

- Perte de flamme dans le four.
- Ratage d'allumage lors du démarrage du four.

Le principal but de cette méthode est de calculer la probabilité de défaillance de chaque évènement redouté dans le but de faire apparaître les évènements les plus probables.

Dans notre travail nous avons utilisé la base de donnée, OREDA est entretenue par des groupements d'industriels pour optimiser la maintenance de leurs installations, évaluer les risques et comparer les performances de leurs installations avec les autres compagnies.

OREDA est la base de données la plus ancienne (la base a été lancée en 1981). Les données de fiabilité proviennent d'un groupe de 9 industriels producteurs de gaz et de pétrole offshore.

Les combinaisons des défaillances qui pourraient être à l'origine de chaque évènement redouté sont schématisées dans les AdD représentées dans la (figures C.1) et la (figures C.2) en (Annexe C).

La probabilité de défaillance est calculée pour chaque ERC à partir des probabilités de défaillance des évènements de base, dans le but de faire apparaître les évènements les plus probables. Les probabilités des évènements de base sont de relevées après consultation des bases de données de LAFARGE et OREDA [18].

Pour les calculs et l'évaluation de l'ERC en peut le réalisée de deux manières. Premièrement, la fréquence de l'ERC peut être issue de l'évaluation des fréquences des évènements initiateurs et de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité en prévention de l'ERC. Deuxièmement, la fréquence de l'ERC peut être déterminée directement en utilisant la source de données quantifiée[11] et [19].

- **Probabilité pour les ER « Perte de flamme » et « Ratage d'allumage »**

Tableau 3.3 : Probabilité de défaillance des équipements [11] et [19]

N°	Code	Équipement	Probabilité de défaillance
1	Eb1	électrovanne automatique	1.0E-03
2	Eb2	électrovanne de régulation	1.0E-01
3	Eb3	moteur électrique	1.8E-01
4	Eb4	ventilateur	1.0E-01
5	Eb5	vanne	1.0E-04
6	Eb6	erreur opérateur	1.0E-02
7	Eb7	usure des briques	1.0E-02
8	Eb8	augmentation de température	1.0E-01
9	Eb9	calcination des jupes [28]	1.0E-01
10	Eb10	concrétion de la matière [28]	1.0E-01
11	Eb11	arrêt brusque du ventilateur de tirage [28]	3.4E-03
12	Eb12	vitesse des grilles [28]	1.0E-03
13	Eb13	approvisionnement clinker [28]	1.0E-01
14	Eb13	Coupure d'électricité	1.0E-02

Tableau 3.4 : Probabilité de défaillance des barrières de prévention [11] et [19]

N°	Code	Barrière de prévention	Probabilité de défaillance
1	BP1	programme régulier d'entretien et d'inspections	1.0E-02
2	BP2	politiques et procédures internes d'opération	1.0E-01
3	BP3	gestion des sous-traitants	5.0E-01
4	BP4	Air choc	1.0E-01
5	BP5	vannes à fermeture automatique	1.0E-04
6	BP6	appareils de détection avec alerte (LSH, LAH)	1.0E-02
7	BP7	programme de formation du personnel	1.0E-01
8	BP8	contrôle d'accès au site	1.0E-01

Après les Calculs nous aboutissons aux résultats suivants :

Tableau 3.5 : Synthèse de probabilité des deux ER

ER	Perte de flamme	Ratage d'allumage
Probabilité d'occurrence de l'ER	1.44E-2	1.02E-2

✓ **Interprétation des résultats (AdD)**

D'après le résultat obtenu en termes de probabilités d'occurrence pour les événements redoutés, de part nous concluons que l'évènement le plus probable est la perte de flamme puisqu'il correspond à la plus grande probabilité, et d'autre part un traitement qualitatif nous a conduit à se prononcer sur les équipements les plus responsable sur l'apparition des deux ER.

Le déroulement de l'AdD1 montre que la défaillance du tirage est responsable de 70.83% de la survenu de ER1 (perte de flamme), ce pourcentage est dû à la défaillance a part de l'ordre de 23.61% de chacun de défaillance des ventilateurs ID-FAN, EP200, EP600.

Le déroulement de l'AdD2 montre que l'arrêt brusque des EP-FAN est responsable de 66.66% de la survenu de ER2 (ratage d'allumage), par contre l'arrêt brusque de l'ID-FAN est responsable de 33.34%.

3.5 Application de la méthode ADE

Le déroulement de l'AdE débute de l'ERC et s'attache à déterminé les évènements et les conséquences qui en découlent. Ainsi, elle permet d'estimer la dérive du système en prenant en considération les éléments de protections et d'intervention.

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'évènements est la suivante:

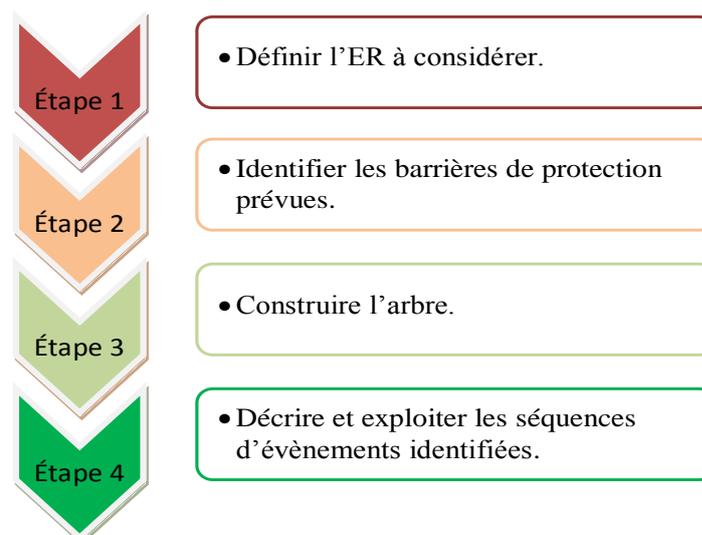


Figure 3.26 : Démarche de l'analyse ADE [15]

3.5.1 Définition des ER à considérer

Les ER à considérer sont les suivants :

- Perte de flamme dans le four.
- Ratage d'allumage causé par la défaillance de l'allumeur
- Ratage d'allumage causé par la défaillance du bruleur.

3.5.2 Identification des barrières de protection et leurs probabilités de défaillances

Durant le déroulement des deux méthodes ADE et ADD nous avons remarqué que le facteur humain joue un rôle très important, il intervient donc à la fois en tant qu'événement initiateur d'accident et élément de rattrapage (ou barrière). La caractérisation du comportement humain est un domaine complexe, et il est bien entendu de l'exprimer en tant que composant ayant une fréquence de défaillance ou en tant que barrière avec un taux de disponibilité [11].

Les probabilités de défaillance des barrières de protections de l'ERC sont présentées dans le tableau 3.6:

Tableau 3.6 : Probabilités de défaillance des Barrières de protection [11] et [19].

Code	Barrières de protection	Probabilités de défaillance
B1	détecteur de flamme	5.0×10^{-2}
B2	arrêt d'urgence	1.0×10^{-2}
B3	analyseur de gaz	5.2×10^{-1}
B4	soupape de sécurité	1.0×10^{-1}

3.5.3 Construction de l'arbre

Le principal but de l'ADE est de calculer la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux qui sont menés par la succession d'événements secondaires.

- **ER « Perte de flamme dans le four »**

La probabilité d'occurrence de l'ER « perte de flamme » est calculé à partir de l'AdD est égale à : $P_{\text{perte de flamme}} = 1.44 \times 10^{-2}$

Le calcul de la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux pour la « *perte de flamme* » :

$$P(C3) = P_{\text{perte de flamme}} \times (1 - P_{B1}) \times P_{B2} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.1 = 6.39 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$P(C4) = P_{\text{perte de flamme}} \times (1 - P_{B1}) \times P_{B2} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.9 \times 0.9 = 5.18 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$P(C6) = P_{\text{perte de flamme}} \times (1 - P_{B1}) \times P_{B2} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.1 = 7.10 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$P(C7) = P_{\text{perte de flamme}} \times (1 - P_{B1}) \times P_{B2} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.9 \times 0.9 = 5.75 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$P(C11) = P_{\text{perte de flamme}} \times P_{B1} \times P_{B2} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.1 = 3.37 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$P(C12) = P_{\text{perte de flamme}} \times P_{B1} \times P_{B2} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.9 \times 0.9 = 2.73 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$P(C14) = P_{\text{perte de flamme}} \times P_{B1} \times P_{B2} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.1 = 3.73 \times 10^{-8} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$P(C15) = P_{\text{perte de flamme}} \times P_{B1} \times P_{B2} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.9 \times 0.9 = 3.02 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (3.8)$$

- ER« Ratage d'allumage dans le four »

Les probabilités de défaillance des barrières de protections de l'ERC sont présentées dans le tableau 3.7 ci-dessous :

Tableau 3.7 : Probabilités de défaillance des Barrières de protection [11] et [19].

Code	Barrières	Probabilités de défaillance
B1	détecteur de flamme	5.0×10^{-2}
B3	analyseur de gaz	5.2×10^{-1}
B4	soupape de sécurité	1.0×10^{-1}

La probabilité d'occurrence de l'ER« ratage d'allumage » est calculé à partir de l'AdD est égale à : $P_{\text{ratage d'allumage}} = 1.02 \times 10^{-2}$

Le calcul de la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux pour le « *ratage d'allumage* » :

$$P(C3) = P_{\text{ratage d'allumage}} \times P_{B1} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.1 = 2.38 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$P(C4) = P_{\text{ratage d'allumage}} \times P_{B1} \times P_{B3} \times (1 - P_{B4}) \times 0.9 \times 0.9 = 1.93 \times 10^{-4} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$P(C6) = P_{\text{ratage d'allumage}} \times P_{B1} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.1 = 2.64 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3.11)$$

$$P(C7) = P_{\text{ratage d'allumage}} \times P_{B1} \times P_{B3} \times P_{B4} \times 0.9 \times 0.9 = 2.14 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (3.12)$$

✓ Interprétation des résultats (AdE)

On remarque que la probabilité d'apparition des phénomènes dangereux pour les évènements « ratage d'allumage dans l'allumeur et le bruleur » et la « perte de flamme » sont les plus importantes que celle des autres phénomènes (figure C.3) et (figure C.4) en (Annexe C)

C'est pour cela dans le reste du travail nous allons nous intéresser, uniquement au trois scénario d'accidents.

3.6 Identifications des scénarios d'accidents

L'identification des scénarios d'accident est une étape clé dans le processus d'analyse des risques, dans notre cas nous avons identifié les scénarios de dangers liées à la perte de flamme dans le four et au ratage d'allumage de l'allumeur et le ratage d'allumage dans le bruleur par l'application des méthodes d'analyse ADD, ADE et par la schématisation nœud de papillon.

Nous avons sélectionné trois scénarios résumés dans le tableau 3.8 :

Tableau 3.8 : Scénarios d'accidents retenus

Scénarios	Evènement redouté	Conséquence	Barriere de protection
1	Perte de flamme dans le four	Accumulation de gaz dans le four Et explosion en cas d'ignition	- détecteur de flamme - analyseur de gaz - soupape de sécurité - arrêt d'urgence
2	Ratage d'allumage dans l'allumeur	Accumulation de gaz dans le four Et explosion en cas d'ignition	- détecteur de flamme - analyseur de gaz - soupape de sécurité
3	Ratage d'allumage dans le bruleur	Accumulation de gaz dans le four Et explosion en cas d'ignition	- détecteur de flamme - analyseur de gaz - soupape de sécurité

Les scénarios sont sélectionnés selon leur niveau de criticité (le produit entre le niveau de probabilité et le niveau de gravité).

3.6.1 Représentation des scénarios d'accidents

La représentation des scénarios d'accidents est faite par combinaison entre les arbres des défaillances et les arbres des événements (nœud de papillon), en représentant l'enchaînement des événements passant de l'évènement initiateur qui est la cause de la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté central jusqu'à la conséquence finale. Les résultats seront représentés dans la (figures C.5), (figure C.6) et la (figure C.7) en (Annexe C).

La fréquence des conséquences des trois scénarios retenus est présentée dans le tableau 3.9 :

Tableau 3.9 : Fréquences des scénarios d'accidents retenus

Scénario	Intitulé	Fréquence des conséquences
1	Explosion suite à la perte de flamme dans le four.	$5.18 \times 10^{-5} \text{ans}^{-1}$
2	Explosion suite au ratage d'allumage dans l'allumeur.	$1.93 \times 10^{-4} \text{ans}^{-1}$
3	Explosion suite au ratage d'allumage dans le bruleur.	$1.93 \times 10^{-4} \text{ans}^{-1}$

Les résultats obtenus montrent qu'il existe 16 situations des phénomènes dangereux d'explosion (explosion dans le four, le refroidisseur, électro-filtre EP600 et EP200, et le préchauffeur) pour les trois événements redoutés étudiés, nous avons calculé pour chaque scénario d'accident les fréquences des conséquences en multipliant les probabilités des événements. Ces phénomènes dangereux ont des effets sur l'Entreprise, une perte financière considérable, du fait qu'un arrêt prolongé de production d'une durée de 06 jours est estimée à une perte financière de : 43.2 Milliard de DA (production journalière de 6000 tonne/jour). Ainsi les effets de surpression qui ont des dommages sur les équipements et les travailleurs se trouvent dans le site. À partir des calculs obtenus nous avons retenu trois scénarios les plus fréquents, l'explosion dans le four représenté dans la (figures C.5), (figures C.6), (figures C.7) en (Annexe C) qui feront l'objet d'une étude approfondie dans le prochain chapitre par modélisation des effets en utilisant le logiciel PHAST.

Chapitre IV

SIMULATION DES PHÉNOMENES DANGEREUX PAR PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool)

Chapitre IV : SIMULATION DES PHENOMENES DANGEREUX PAR PHAST

Dans le présent chapitre nous allons utiliser un logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) afin de réaliser une simulation des effets du phénomène dangereux retenu dans le chapitre précédent, qui est l'explosion dans le four.

Après le calcul des probabilités d'occurrences des évènements redouté. Nous avons trouvé les deux évènements redoutés « perte de flamme » et « ratage d'allumages » comme étant les évènements les plus probables qui peuvent se produire dans le four. Cette situation critique pourrait donner lieu à plusieurs scénarios d'accident majeur tel que l'explosion.

Ceci nous a amené à effectuer une simulation des effets de surpression afin d'estimer l'étendue de cette explosion sur un périmètre bien défini.

4.1 Simulation de l'explosion

La simulation de l'explosion dans le four se fait par l'application de la méthode Trinitrotoluène (TNT), celle-ci nous permet de calculer l'effet de surpression de l'explosion, reste que les principaux inconvénients de ce modèle ne permette pas de déterminer les effets thermiques et ne calcule pas l'évolution temporelle de l'explosion.

4.1.1 Description du phénomène « Explosion »

C'est un phénomène de désintégration violente et instantanée, accompagné généralement de bruit et parfois d'éclats et qui est dû à la mise en œuvre d'un mélange détonant.

Les surpressions atteintes vont dépendre à la fois des caractéristiques du mélange, mais aussi de l'environnement physique dans lequel la flamme se propage.

Les principaux paramètres qui influent sur la violence de l'explosion sont [20]:

- Les caractéristiques du mélange inflammable ;
- Les caractéristiques de la source d'allumage ;
- Les caractéristiques du lieu d'explosion (encombrement et confinement).

4.1.2 Effets des explosions

Les seuils des effets de surpression sur les structures et sur les hommes sont présentés dans le tableau 4.1 [20] [21].

Ces valeurs correspondent aux seuils des premiers effets observés, sauf dans le cas où le pourcentage de cibles affectées est précisé.

Tableau 4.1 : Seuils des effets de surpression

En mbar	Effets sur les structures	Effets sur l'Homme
20	Seuil des destructions significatives des vitres.	Seuils des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme
50	Seuil des dégâts légers sur les structures	Seuil des effets irréversibles délimitant la «zone de dangers significatifs pour la vie humaine»
140	Seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux délimitant la «zone des dangers graves pour la vie humaine »
200	Seuil des effets domino	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la «zone des dangers très graves pour la vie humaine»
300	Seuil des dégâts très graves sur les structures	

4.1.3 Modèle de l'équivalent TNT

Il existe plusieurs modèles de calcul des effets thermique et les effets de surpressions aériennes, les plus largement répandues et implémenté dans le logiciel PHAST sont les suivants [22] :

- Modèle de l'équivalent TNT,
- Modèle Multi- énergie ou TNO,

L'équivalent TNT d'un explosif est défini comme la masse de Trinitrotoluène (TNT) dont l'explosion provoque le même champ de surpression que l'explosion d'un kilogramme de l'explosif étudié.

La masse M_{TNT} (équivalent TNT), est calculée par la relation ci-après :

$$M_{TNT} = a \times M_{CH_4} \times \frac{E_{gaz}}{E_{TNT}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Tel que:

- E_{gaz} Désigne la quantité d'énergie que le combustible considéré peut libérer après combustion.
- E_{TNT} Désigne la quantité d'énergie libérée par l'explosion d'un kg de TNT soit environ 4690 kJ.
- « a » Désigne le « rendement » de l'explosion de gaz.

Le rendement « a » possède différentes significations selon ce que représente exactement l'énergie E_{gaz} .

En effet, E_{gaz} peut représenter l'énergie de combustion de :

- La totalité de la masse de combustible rejetée accidentellement (sachant qu'une partie seulement de cette masse sera dans les limites d'explosibilité) ;
- Ou de la masse de combustible mélangée avec l'air en proportions explosibles.

Dans le premier cas, le rendement « a » est à considérer comme « global », dans le sens où il qualifie à la fois le rendement ou l'efficacité :

- Du rejet et de sa dispersion pour former un mélange explosible ;
- Et de la propagation des flammes pour engendrer des ondes de surpression d'amplitude plus ou moins importante ;

Dans le second cas, « a » représente un rendement qui qualifie la capacité des flammes à engendrer des surpressions. Il ne s'agit donc, dans ce cas, que d'un rendement d'explosion.

4.2 Application et calcul des effets de l'explosion par PHAST

Nous allons dans cette partie simulée les effets des trois scénarios d'explosion retenu dans le chapitre précédent en appliquant la logiciel PHAST.

4.2.1 Présentation du logiciel de simulation PHAST

PHAST est un logiciel qui a été développé et mis à jour par DNV (Det Norske Veritas) pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques liés à diverses industries.

Ce logiciel permet de simuler l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain.

4.2.2 Masse du méthane (CH₄)

Le gaz naturel (méthane) est utilisé pour la combustion dans le four. Le méthane, sous forme gazeuse, provenant de la station gaz d'un débit de 13000 Nm³/h à une pression inférieure ou égal à 7 bars, est injecté dans la tuyère du bruleur dans le four.

Le gaz naturel est inodore, incolore, mais très explosible (limites d'explosivité entre 5 % et 15 %). Étant donné sa masse volumique (est de 0,780 kg/m³), le gaz naturel tend à monter rapidement dans l'atmosphère en cas de fuite est de se confiné dans les milieux clos.

Les données pour le **Poste de gaz four** sont comme suit :

- Chaleur de combustion du gaz naturel (méthane) 40% : 315 Kcal/kg = 1317.96 kJ/kg.
- Chaleur de combustion du TNT : 4690 kJ/kg.

4.2.3 Calcul de la masse de TNT pour les scénarios retenue

Les scénarios retenus sont présentés dans le tableau 4.2 :

Tableau 4.2 : Scénarios d'explosion retenu

Scénario	Intitulé
1	Explosion suite à la perte de flamme dans le four.
2	Explosion suite au ratage d'allumage dans l'allumeur.
3	Explosion suite au ratage d'allumage dans le bruleur.

- Masse pour le scénario 1

✓ 1^{er} cas

Nous calculons la masse du méthane pour un débit de 9000 Nm³/h et une durée de 05 mn (temps pour évacuation du gaz accumuler dans le four) lors de l'exploitation normale avec échec d'évacuation du gaz :

$$Q_{\text{CH}_4} = 9000 \text{ Nm}^3/\text{h} = 9000 \text{ Nm}^3 / 60 \text{ mn} = 150 \text{ Nm}^3/\text{mn}$$

$$V_{\text{CH}_4} = Q_{\text{CH}_4} \times \text{Temps} = 150 \times 5 = 750 \text{ Nm}^3 \dots\dots\dots (4.2) \text{ Soit}$$

$$M_{\text{CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4} \times V_{\text{CH}_4} = 0.780 \times 750 = \mathbf{585 \text{ kg}} \dots\dots\dots(4.3) \text{ en remplaçons dans (4.1)}$$

$$M_{\text{TNT}} = a \times M_{\text{CH}_4} \times \frac{E_{\text{gaz}}}{E_{\text{TNT}}} = 0.1 \times 585 \times \frac{1317.96}{4690} = \mathbf{16 \text{ kg}}$$

✓ 2^{ème} cas

En calcul la masse du méthane pour un volume de méthane qui atteint les 75% du volume du four lors de l'exploitation normale avec échec d'évacuation du gaz :

$$V_{\text{four}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L = \frac{3.14}{4} \times 4.75^2 \times 74 = 1311 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0.75 \times V_{\text{four}} = 0.75 \times 1311 = 983.25 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (4.5) \text{ Soit}$$

$$M_{\text{CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4} \times V_{\text{CH}_4} = 0.780 \times 983.25 = \mathbf{767 \text{ kg}} \text{ en remplaçons dans (4.1)}$$

$$M_{\text{TNT}} = a \times M_{\text{CH}_4} \times \frac{E_{\text{gaz}}}{E_{\text{TNT}}} = 0.1 \times 767 \times \frac{1317.96}{4690} = \mathbf{22 \text{ kg}}$$

- Masse pour les scénarios 2 et 3

En calcul la masse du méthane pour un débit de 700 Nm³/h et une durée de 05 mn (temps pour évacuation du gaz accumuler dans le four) lors du ratage l'allumage avec échec d'évacuation du gaz :

$$Q_{CH_4} = 700 \text{ Nm}^3/\text{h} = 700 \text{ Nm}^3 / 60 \text{ mn} = 11.66 \text{ Nm}^3 / \text{mn}$$

$$V_{CH_4} = Q_{CH_4} \times \text{Temps} = 11.66 \times 5 = 58.33 \text{ Nm}^3 \quad \text{Soit}$$

$$M_{CH_4} = \rho_{CH_4} \times V_{CH_4} = 0.780 \times 58.33 = \mathbf{45.5 \text{ kg}} \quad \text{en remplaçons dans (4.1)}$$

$$M_{TNT} = a \times M_{CH_4} \times \frac{E_{gaz}}{E_{TNT}} = 0.1 \times 45.5 \times \frac{1317.96}{4690} = \mathbf{1.28 \text{ kg}}$$

Tableau 4.3 : Synthèse de masse des scénarios

Scénario	Cas	Masse (CH ₄)	Masse TNT
1	1	585 kg	16 kg
	2	767 kg	22 kg
2 et 3		45.5 kg	1.28 kg

4.2.4 Application sur le logiciel PHAST

Nous avons collecté les données utiles pour l'application du modèle TNT sur le logiciel PHAST. Ces données sont dans le tableau 4.4 :

Tableau 4.4 : Données utilisé pour le logiciel PHAST

Combustible	Méthane		
Masse TNT	1.28 kg	16 kg	22 kg
Classe climatique	5/D		
Vitesse du vent	11m/s		
Distance maximale	100 m		
Distance minimale	1 m		
Le pas	5 m		
Le rendement	10% (Valeur attribuée aux hydrocarbures Et au gaz inflammable)		

Les valeurs de surpression en fonction des distances sont représentées dans le tableau 4.5:

Tableau 4.5 : Valeurs de surpression en fonction de la distance par PHAST

Scénario 2 et 3		Scénario1 (1 ^{er} cas)		Scénario1 (2 ^{ème} cas)	
Surpression (bar)	Distance (m)	Surpression (bar)	Distance (m)	Surpression (bar)	Distance (m)
1	1	1	1	1	1
0,259	5,9	1	5,95	1	5,95
0,100	10,8	0,436	10,9	0,523	10,9
0,058	15,7	0,233	15,85	0,278	15,85
0,039	20,6	0,151	20,8	0,179	20,8
0,029	25,5	0,109	25,75	0,128	25,75
0,023	30,4	0,083	30,7	0,098	30,7
0,019	35,3	0,067	35,65	0,078	35,65
0,016	40,2	0,055	40,6	0,065	40,6
0,014	45,1	0,047	45,55	0,055	45,55
0,012	50	0,041	50,5	0,047	50,5
		0,036	55,45	0,041	55,45
		0,032	60,4	0,037	60,4
		0,029	65,35	0,033	65,35
		0,026	70,3	0,030	70,3
		0,024	75,25	0,027	75,25
		0,022	80,2	0,025	80,2
		0,020	85,15	0,023	85,15
		0,019	90,1	0,022	90,1
		0,018	95,05	0,020	95,05
		0,016	100	0,019	100

Le logiciel PHAST nous à donner les valeurs de surpression références avec leurs distances représenté dans le tableau 4.6 :

Tableau 4.6 : Valeurs des distances pour les seuils de surpression de référence par PHAST

Surpression (mbar)		20	140	200
Scénario 2 et 3	Distance (m)	33,90	8,77	6,79
Scénario1 (1 ^{er} cas)		85,43	22,12	17,11
Scénario1 (2 ^{ème} cas)		94,99	24,59	19,03

Les courbes de variation de la surpression en fonction de la distance sont présentées dans les figures (4.1) - (4.2) - (4.3) du 1^{er} cas (1^{er} scénario), les figures (4.4) - (4.5) - (4.6) du 2^{ème} cas (1^{er} scénario), les figures (4.7) - (4.8) - (4.9) du 2^{ème} et 3^{ème} scénario si dessous :

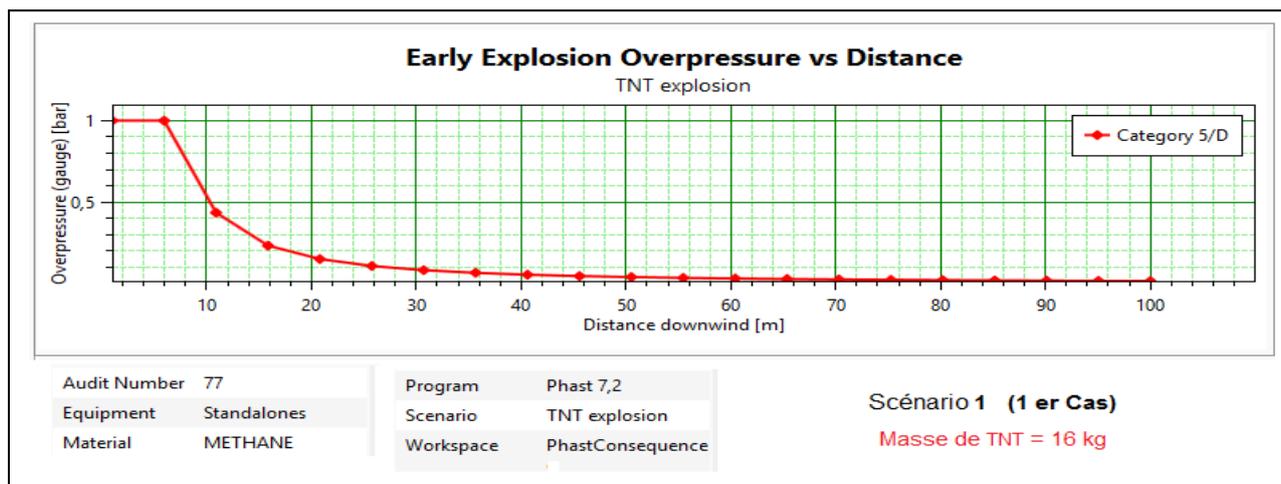
✓ 1^{er} cas (Scénario N°1)

Figure 4.1 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance

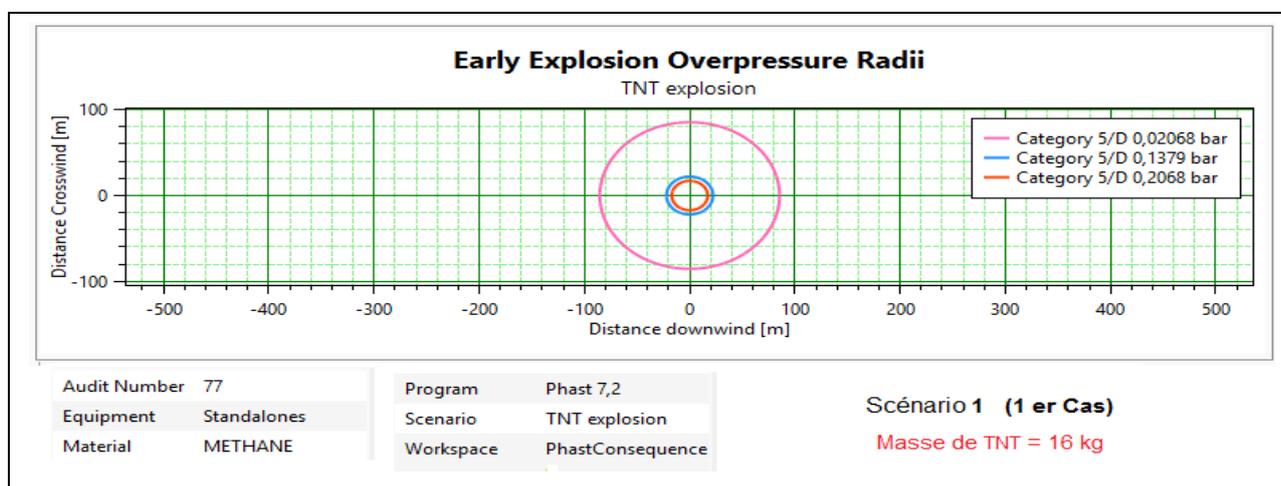


Figure 4.2 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST



Figure 4.3 : Cartographie des effets de la surpression de TNT (source : PHAST, Google map)

✓ 2^{ème} cas(Scénario N°1)

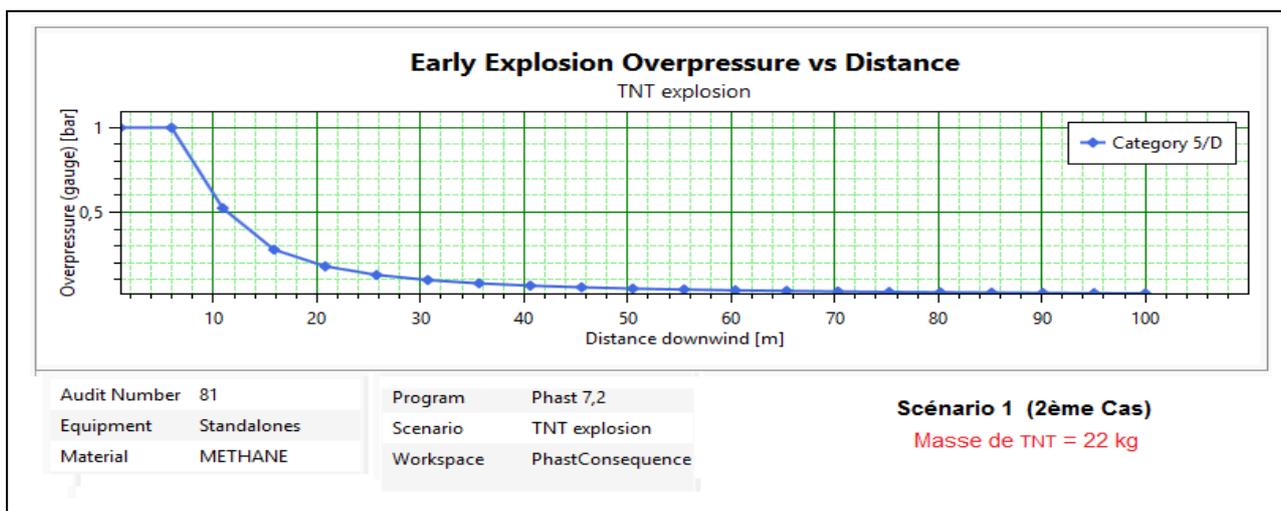


Figure 4.4 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance

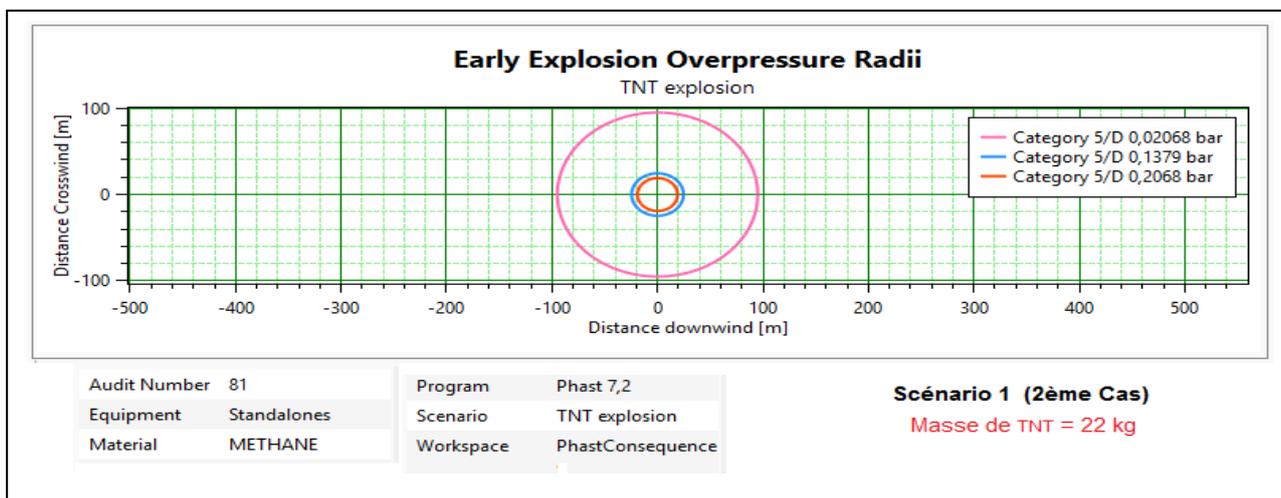


Figure 4.5 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST



Figure 4.6 : Cartographie des effets de la surpression de TNT (source : PHAST, Google map)

✓ Scénario N°2 et 3

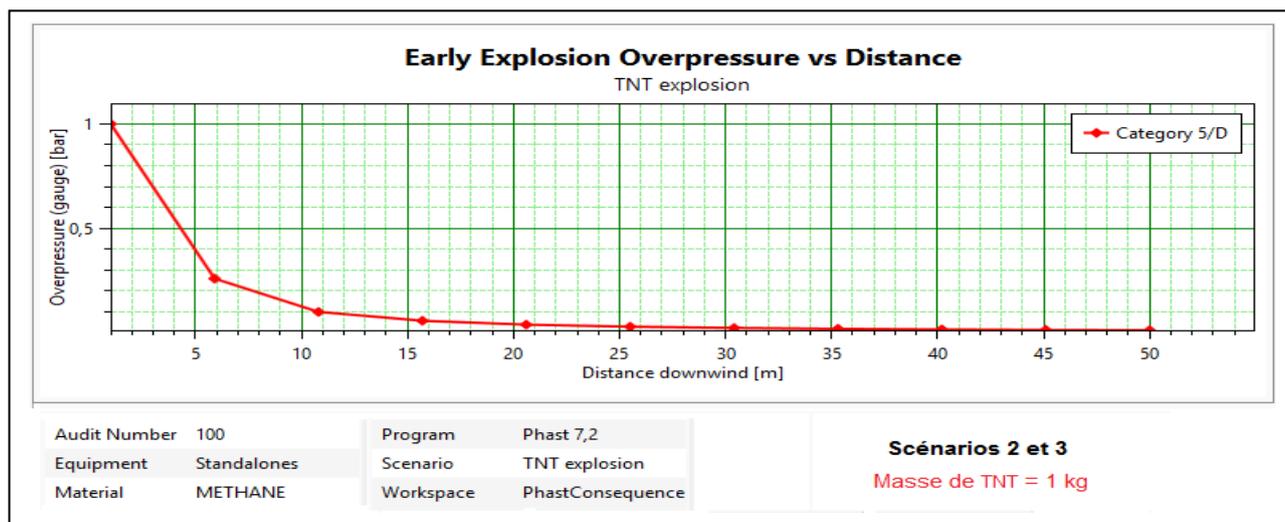


Figure 4.7 : Courbes de variation de la surpression en fonction de la distance

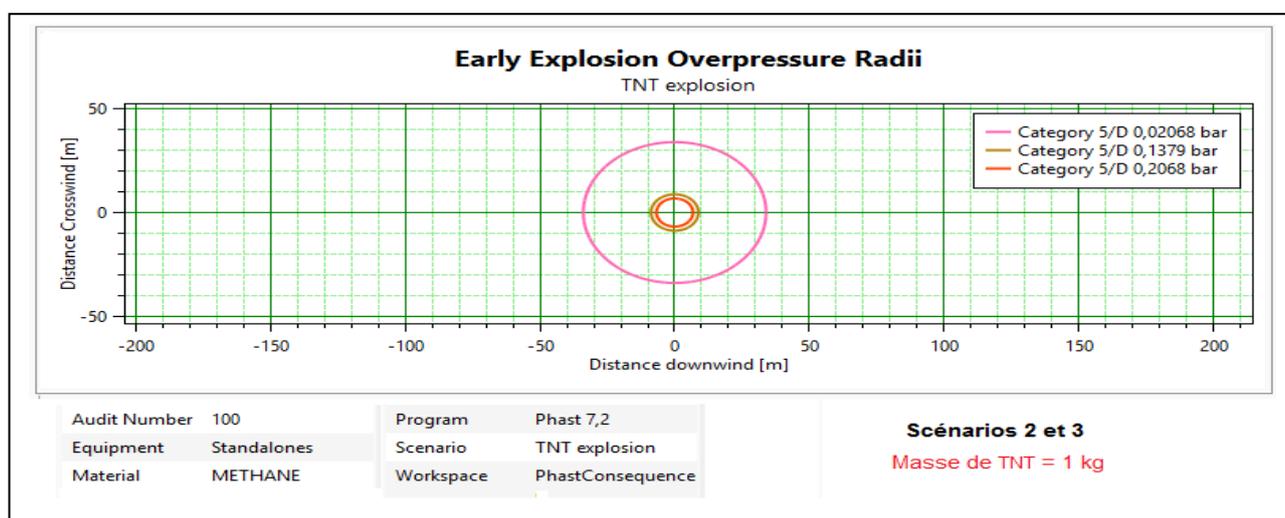


Figure 4.8 : Propagation du nuage radial et vertical selon PHAST



Figure 4.9 : Cartographie des effets de la surpression de TNT (source : PHAST, Google map)

Nous avons simulé trois scénarios d'explosion, le premier scénario d'explosion lors du ratage d'allumage dans l'allumeur et le bruleur, le second scénario d'explosion lors de la perte de flamme dans le four, et le dernier scénario d'explosion lors de la perte de flamme avec cumule de gaz de 75% du volume du four, on a choisi comme centre de l'explosion le capot de chauffe du four là où se trouve le bruleur, pour montrer l'effet de l'explosion sur le site de la ligne de cuisson et les alentours.

➤ **Simulation des Scénarios N° 2 et 3 d'explosions**

Les seuils de 200 mbar et 140 mbar (Seuil des effets domino et seuil des dégâts graves sur les structures respectivement) présentent des distances de (6.79 et 8.77 m) touchant les équipements suivants :

- la virole, y compris le capot de chauffe.
- La ligne de refroidissement.
- Et la station de gaz par effets domino.

Sachant que l'accès des travailleurs à cette zone est interdit et limité sauf au personnes habilité et qui ont un permis de travail, l'effet de surpression peut engendrer des dommages létaux aux personnes présentes dans ce périmètre.

Le rayon mauve est caractérisé par une distance de 33.90 m et une surpression de 20 mbar. À ce niveau-là, les dommages peuvent être moins graves sur les personnes (blessures). Ils sont insignifiants aussi sur les structures (mur fissuré, glace brisée).

➤ **Simulations du 1^{er} et 2^{ème} cas du Scénario N°1 d'explosions**

Les seuils de 200 mbar et 140 mbar (Seuil des effets domino et seuil des dégâts graves sur les structures respectivement) présentent respectivement des distances de (17.11 et 22.12 m) et (19.03 et 24.59 m), les deux peuvent toucher les équipements suivants :

- la virole, y compris le capot de chauffe.
- Le refroidisseur.
- Et la station de gaz par effets domino.
- L'electrofiltre (EP200).

De même la présence des travailleurs dans cette zone peut être catastrophique, c'est une zone des dommages létaux et des dangers très graves pour la vie humains (selon le tableau 4.1 effet sur la vie humaine).

Le seuil de 20 mbar touche une grande partie de la ligne de cuisson, les deux electrofiltres ,le bloc administratif et une partie de l'atelier de maintenance. il est caractérisé par une distance de 85.43 m et 94.99 m respectivement. Dans ce rayon, les parties vitrées seront détruites. Et les dommages peuvent être moins graves sur les personnes (blessures).

Nous confirmons grâce à cette simulation le caractère majeur de l'explosion du four pouvant engendrer des dégâts humains et matériels. De ce fait, nous allons proposer dans le prochain chapitre de mettre en place un ensemble d'actions de maitrise pour le contrer.

Chapitre V

*ACTIONS DE MAITRISE
DES RISQUES*

Chapitre V : ACTIONS DE MAITRISE DES RISQUES

Pour minimiser la probabilité d'apparition d'une situation dangereuse tel que l'explosion dans le four dans notre cas, on a eu recours à différents types de barrières de sécurité de ce fait, dans ce chapitre on parlera ainsi de la maîtrise des risques et l'importance qu'elle joue dans la réduction de l'apparition des événements redouté (barrières de prévention) et d'atténuer la gravité des conséquences (barrières de protection). Et à la fin, nous proposerons des solutions de maîtrise à l'usine LAFARGE de M'sila, et ceux à partir des résultats obtenu dans les chapitres précédents.

5.1 Maîtrise des risques

La maîtrise du risque désigne l'ensemble des actions ou dispositions entreprises en vue de diminuer la probabilité (P) ou la gravité (G) des dommages associés à un risque particulier. De telles mesures doivent être envisagées et mise en œuvre dès lors que le risque (R) considéré est inacceptable. Comme dans notre cas, les mesures de maîtrise du risque se répartissent comme suit [13] :

- Barrières de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont de l'ER.
- Barrières de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux.
- Barrières de protection : mesure visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité.

Les actions de maîtrise des risques consistent souvent à mettre en place des barrières de sécurité, dispositifs techniques ou organisationnels qui assurent la maîtrise du risque. La réduction du risque effectivement apportée par les barrières de sécurité dépend de leur efficacité, de leur temps de réponse et de leur fiabilité caractérisée par un niveau de confiance ou souvent appelés SIF (Safety Instrumented Function) et SIL (Safety Integrity Level).

L'objectif ultime de la maîtrise des risques est de traiter les risques par la mise en place de barrières de prévention ou de protection afin d'atteindre le niveau de sécurité souhaité. Les

actions de prévention sont prioritaires par rapport aux actions de protection. Du fait qu'elle intervient avant l'apparition de l'évènement redouté. Elle nécessite l'engagement de moyens financiers, humains et techniques considérables [23].

LAFARGE dans sa politique globale de management de sécurité, vise à atteindre des objectifs tels que produire avec minimum d'arrêt et minimum de risque.

5.1.1 Importance des actions de maîtrise dans la production

Parmi les conséquences critiques pouvant résulter du développement de l'un des évènements redoutés précédemment étudiés, est l'arrêt de production cette conséquence par le fait de l'arrêt consécutif du four, à un impact direct sur la perte économique immense de l'usine, vu qu'un arrêt de four nécessite une période de 03 jours d'échauffement et 03 jours de refroidissement. D'où la nécessité de l'application des actions de maîtrise pour réduire les arrêts de production. Sachant que la production journalière d'un four est d'environ 6000 t/jour qui sont équivalente à 7.2 Milliard de DA par jour.

5.1.2 Aspects des barrières de sécurité

La réduction des risques et de leurs conséquences peut être opérée selon des aspects techniques et organisationnels.

5.1.2.1 Aspect technique

L'aspect technique est basé sur les concepts de prévention visant à réduire la probabilité de survenance d'un risque et de protection visant à diminuer la gravité d'un risque, il peut être un élément matériel, un dispositif de sécurité ou un système instrumenté de sécurité[24].

Les barrières de prévention peuvent comportées :

- Programme régulier d'entretien préventif des équipements.
- Inspection (audits) sur le terrain des activités en cours.
- Procédures d'exploitation détaillées.
- Formation du personnel.
- Politique interne, visant l'instauration et le maintien d'une culture de sécurité et de gestion des risques.

- Verrouillage automatiques, interrompant les équipements avant la survenance d'un accident si des conditions potentiellement dangereuses surviennent.

Les barrières de protection peuvent comportées :

- Appareil de détection avec alerte.
- Mur de sécurité.
- Bassin de rétention.
- Gicleur, rideau d'eau
- Exercice d'urgence.
- Procédure d'évacuation.
- Plan d'urgence.
- Contrôle d'accès.

5.1.2.2 Aspect organisationnel

L'aspect organisationnel de la maîtrise des risques consiste à élaborer différents programmes pour la sécurité et la sûreté de l'entreprise, en fonction de paramètres réglementaires, des risques identifiés et des aspects matériels et humains. Il repose sur les notions d'anticipation, de réactivité et de communication appliquée aux différents modes de fonctionnement de l'entreprise, elles sont entre autre :

- Conception des moyens techniques (choix des normes et codes adéquats) en recherchant les meilleures techniques disponible économiquement acceptable.
- Inspection et maintenance des moyens techniques.
- Conception des moyens humains (divers types de procédures).
- La formation et le contrôle des compétences des moyens humains.
- Gestion des documents technique et opérationnel.
- Plan interne d'intervention (PII) et le plan particulier d'intervention (PPI).

5.1.3 Suivi et révision

L'efficacité des mesures de réduction retenues en phase de traitement des risques est conditionnée par le suivi rigoureux de leur mise en œuvre et la continuité du processus de gestion des risques. Le maintien du niveau de maîtrise est assuré par l'information, la communication et la formation.

L'information et la communication ont une double vocation : sensibiliser l'ensemble des membres de l'organisation et développer une gestion des risques participative par une intégration du personnel et du public au processus de décision. La formation et l'entraînement sont nécessaires au maintien de qualification des unités opérationnelles chargées des moyens de gestion de crise.

Les contrôles de suivi et de niveau de maîtrise peuvent être assurés aussi par des actions ponctuelles telles que l'audit qui apporte un regard extérieur, ou bien par la mise en place d'indicateurs de suivi, sous la forme de tableaux de bord qui favorisent un suivi intégré à la politique de l'entreprise, mesurant l'évolution du niveau de risque, les efforts engagés, les résultats atteints [25].

5.2 Application et proposition des actions de maîtrise des risques

Les recommandations de LAFARGE c'est de préconiser des solutions de maîtrise qui n'auront pas à compromettre la production vue qu'un four a un apport financier de 7.2 Milliard de DA par jour.

De ce fait, nous allons plus nous préoccupez du volet prévention étant donné qu'il est prioritaire sans pour autant négliger la protection.

Le traitement qualitatif des AdD nous a fait ressortir les évènements (en combinaison) qui prévaut et contribue le plus dans l'apparition de l'ER.

Les éléments qui seront concernés par les mesures de maîtrise sont :

- Ventilateur ID-FAN.
- Ventilateur EP200.
- Ventilateur EP600.
- Vanne d'isolement de gaz du bruleur (XGN14).

- Vanne et robinet d'isolement de gaz de l'allumeur (XGA01, XGA05, XGA06).
- Vanne de régulation de gaz du bruleur (XGN07).

5.2.1 Sur le plan de prévention

A partir du 1^{er} AdD (perte de flamme) et le 2^{eme} AdD (ratage d'allumage) nous proposons comme mesures de prévention :

- La redondance des ventilateurs de tirage (ID-FAN, EP200 et EP600) pour assurer la continuité du tirage et l'évacuation du gaz cumulé après la survenu des dites ER.
- L'Utilisation d'un apport en électricité palliatif pour assurer le fonctionnement permanent des ventilateurs de tirage.
- Assurer une maintenance périodique et garantir une fiabilité de l'ensemble des vannes et robinets d'isolement de gaz, les vannes de régulation de gaz naturelle alimentent le bruleur et l'allumeur, ainsi que les équipements des ventilateurs de tirage (paliers, axes moteurs et roulements).
- Former et informer tous le personnel impliqué sur le fonctionnement des installations ou sont installés les équipements cité dans le paragraphe au-dessus, sur les risques liés à l'activité elle-même, sur les produits manipulés (comprendre les symboles de danger), sur le zonage (interventions en zone à risque d'explosion ou d'incendie).
- Verrouillage automatiques au niveau de la salle de contrôle, interrompant les équipements avant la survenance d'un accident si des conditions potentiellement dangereuses surviennent.

5.2.2 Sur le plan de protection

- Un déplacement des installations (hors exploitation) est plus que nécessaire au-delà de la zone déterminer par le calcul des effets fait par PHAST soit 95m du centre de l'explosion. Les installations concernées sont : bloc administrative, atelier de maintenance.
- Installer des détecteurs de gaz et d'incendie combinés à un shutdown général automatique des installations en cas d'alarme avec sectionnement des équipements au niveau des portiques gaz.

- Mettre en place au niveau de la boîte à fumée un système d'évacuation de gaz automatique avec un système asservi qui le commande relié à la salle de contrôle.
- Exercice de simulation d'urgence sur les scénarios.
- Plan interne d'intervention (PII) et le plan particulier d'intervention (PPI).

La maîtrise des risques abordé dans ce chapitre passe par la mise en place des moyens de prévention et de protection ainsi l'élaboration du plan interne d'intervention est effective, cela permettra de réduire considérablement les niveaux de risques relevés dans l'état actuel des choses.

CONCLUSION GENERALE

L'industrie du ciment est dans un grand essors en Algérie, l'accroissement de cette activité, vas nécessairement engendré une augmentation d'accidents de ce fait, une analyse permanente de risque devrai se faire pour être proactive. nous avons décortiqué le processus de fabrication de ciment selon les besoins requis aux études de sécurité et gestion de risque, et pour répondre à notre problématique une méthodologie a été établi et qui pourrai être utilisé ultérieurement dans d'autres types d'installations similaires.

L'utilisation de l'SADT nous a été d'un grand apport vue qu'elle nous a permis de formaliser les liens entre les sous-systèmes formants la cimenterie, et de localiser nos deux ER. De ce fait, cinq sous-systèmes interviennent d'une façon direct ou indirect sur la survenu des dites ER.

Dans une démarche de vérification de ces ER, l'APR nous a confirmé les deux ER (Perte de flamme, Ratage d'allumage) vu qu'ils contribuent aux risques d'explosion d'une façon directe et au pertes financières d'une façon indirecte.

Par l'entremise de l'AdD, les deux ER ont été non seulement estimer, mais aussi leurs causes ont été identifié. La perte de flamme est localisée dans le four, quant au ratage d'allumage la défaillance pourrait être soit de l'allumeur soit du bruleur. Il en ressort que leurs probabilités sont :

- ER1(perte de flamme)= $1.44 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$.
- ER2(Ratage d'allumage)= $1.02 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$.

Une AdE a été élaboré pour déterminer les évènements et les conséquences les plus catastrophiques.

En effet, trois scénarios ont été retenus et leurs fréquences calculées, il s'agit de :

- ✓ 1^{er} Scénario : Explosion suite à la perte de flamme dans le four = $0.52 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.
- ✓ 2^{ème} Scénario: Explosion suite au ratage d'allumage dans l'allumeur = $1.93 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.
- ✓ 3^{ème} Scénario : Explosion suite au ratage d'allumage dans le bruleur = $1.93 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$.

Pour traiter et maîtriser les risques générant ces scénarios, une modélisation et une simulation des effets a été soigneusement établi et donnant des résultats remarquables surtout sur le plan suppression.

A cet effet, plusieurs simulations ont été faites :

-Simulation du 1^{er} cas (scénario N°1), le débit de gaz est de 9000 Nm³/h, la distance de sécurité est de 7 m.

-Simulation du 2^{ème} cas (scénario N°1), le volume de gaz est de 75% du volume de four, la distance de sécurité est de 18 m.

-Simulation du 2^{ème} et 3^{ème} scénarios, le débit de gaz est de 700 Nm³/h, la distance de sécurité est de 19 m.

Il en résulte que 20 mètre est retenu comme distance de sécurité contre les effets indirect de surpression de la 1^{ère} zone, néanmoins une distance de 95 mètres doit être respectée pour sécuriser les occupants de l'usine.

Donc dans les trois simulations de scénarios d'explosion nous retenons 95 mètres de distance de sécurité.

- Pour les actions de maîtrise

Les recommandations de LAFARGE c'est de préconiser des solutions de maîtrise qui n'auront pas à compromettre la production vue qu'un four a un apport financier de 7.2 Milliard de DA par jour.

De ce fait, nous nous sommes préoccupés du volet prévention sans pour autant négliger la protection.

✓ Sur le plan de prévention

Nous avons proposé comme mesures de prévention :

- La redondance des ventilateurs de tirage (ID-FAN, EP200 et EP600) pour assurer la continuité du tirage et l'évacuation du gaz cumulé après la survenue des dites ER.

- L'Utilisation d'un apport en électricité palliatif pour assurer le fonctionnement permanent des ventilateurs de tirage.
- Assurer une maintenance périodique et garantir une fiabilité de l'ensemble des vannes et robinets d'isolement de gaz, les vannes de régulation de gaz naturelle alimentent le bruleur et l'allumeur, ainsi que les équipements des ventilateurs de tirage (paliers, axes moteurs et roulements).
- Former et informer tous le personnel impliqué sur le fonctionnement des installations ou sont installés les équipements cité dans le paragraphe au-dessus, sur les risques liés à l'activité elle-même, sur les produits manipulés (comprendre les symboles de danger), sur le zonage (interventions en zone à risque d'explosion ou d'incendie).
- Verrouillage automatiques au niveau de la salle de contrôle, interrompant les équipements avant la survenance d'un accident si des conditions potentiellement dangereuses surviennent.

✓ **Sur le plan de protection**

- Un déplacement des installations (hors exploitation) est plus que nécessaire au-delà de la zone déterminer par le calcul des effets fait par PHAST soit 95m du centre de l'explosion. Les installations concernées sont :
 - Bloc d'administrative.
 - Atelier de maintenance.
- Installer des détecteurs de gaz et d'incendie combinés à un shutdown général automatique des installations en cas d'alarme avec sectionnement des équipements au niveau des portiques gaz.
- Mettre en place au niveau de la boite a fumée un système d'évacuation de gaz automatique avec un système asservi qui le commande relié à la salle de contrôle.
- Exercice de simulation d'urgence sur les scénarios.
- Plan interne d'intervention (PII) et le plan particulier d'intervention (PPI).

Références bibliographiques

- [1] **Site lafarge** lien <https://www.andlil.com/societe-lafarge-127188.html>, consulté le 22/02/2018.
- [2] **Site lafarge-holcim** lien https://www.l-fargeholcim.com/sites/default/files/atoms/files/09212004-publication_sustainable-sustainability_report_2002-fr.pdf, consulté le 22/02/2018.
- [3] **Site reporters** lien <http://reporters.dz/index.php/rss-a-la-une/item/51211-lafarge-algerie-300-millions-d-euros-d-investissements-prevus-sur-les-deux-prochaines-annees>, consulté le 22/02/2018.
- [4] **Site lafarge** lien https://www.lafarge.dz/1_5-sante-et-securite, le 22/02/2018.
- [5] **Site lafarge** lien https://www.lafarge.dz/1_2-Lafarge-en-Algerie, le 22/02/2018.
- [6] **Site lafarge** lien <https://www.lafarge.dz/1-qui-sommes-nous>, le 23/02/2018.
- [7] **Site les échos** lien <https://investir.lesechos.fr/actionnaires/interview/la-fusion-entre-egaux-de-lafarge-et-holcim-est-avant-tout-strategique-1055768.php>, le 23/02/2018.
- [8] **Yves, M.** Arbres de défaillance, des causes et d'événement. Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, 2002.
- [9] **Barbiroli, G.** A new method to evaluate the specific and global advantage of a technology. Technovation, 1990.
- [10] **Rapport INERIS** n° 46036 -02996A 20/12/2006 - Programme EAT-DRA 34 - Opération j - Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse de risque - Méthode de quantification probabiliste dans l'analyse de risques, 2006.
- [11] **ICSI**, Les cahiers de la sécurité industrielle, l'analyse de risque, fréquence des événements initiateurs d'accident, 2009.
- [12] **Bernuchon, E. et Salvi O,** et **Ω-7** Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, 2003.
- [13] **INERIS - DRA** et **Ω7**: Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle, 2006.
- [14] **Villemeur, A.** Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, Edition Eyrolles 1997

- [15] **Yves, M.**, Arbres de défaillance, des causes et d'événement. Techniques de l'ingénieur, Méthodes d'analyse des risques, 2002.
- [16] **Olivier, I.** Le nœud papillon : une méthode de quantification du risque majeur, Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, 2008.
- [17] **Miles, L.D.** « Techniques of Value Analysis and Engineering », McGraw-Hill 1972.
- [18] **Companies : ENI S.p.A / AGIP** Exploration & Production- BP Exploration Operating Company-ExxonMobil International- Norsk Hydro ASA- Phlipps Petroleum Company Norway- Statoil ASA-Shell Exploration & Production- Total Final Elf, OREDA, Offshore Reliability Data Handbook, 4ème Edition. 2002
- [19] **ENSPM** Formation Industrie - IFP Training , Sécurité des systemes-analyse de risques, méthodes d'analyse de risques , 2006.
- [20] **INERIS**, Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels. Le BLEVE, phénoménologie et modélisation des effets thermiques et Ω -5. 2002
- [21] **ISO/DIS 13344**, Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents 1996.
- [22] **Groupeement Français** de Combustion, lien:www.combustioninstitute.fr/index.php consulté le 01/05/2017.
- [23] **ISO/CEI** Guide 73. 2002.
- [24] **Fumey, M.** Méthode d'Évaluation des Risques Agrégés : application au choix des investissements de renouvellement d'installations Institut National Polytechnique de Toulouse spécialité système industriel: 2001.
- [25] **Kaufman, W.** Of acceptable risk W.W.LAURENCE, 1976.
- [26] **Lafarge**, Usine de fabrication de ciment de M'sila, 2018.
- [27] **Lefkir. A.H.** PFE, Maitrise des risques technologiques majeurs, ENP 2015.
- [28] **Benkhald.R.** PFE, Maitrise des risques par approche de SdF, ENP 2017.
- [29] **ARIA**, N° 11342, lien :<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/5169/> consulté le 22/11/2017.

ANNEXE A

(APR et Matrice de criticité)

Tableau A.1 : Échelle de gravité

Niveau de gravité (NG)	NG1	NG2	NG3	NG4	NG5
Appréciation	Négligeable : Aucune atteinte pour la santé	Modéré : Blessure ou impact Santé léger: N'affectant ni la capacité de travail, ni les activités de la vie quotidienne	Sérieux : Blessure ou impact Santé mineur: Affectant la capacité de travail entraînant des restrictions d'activités de travail. Ou affectant les activités de la vie quotidienne jusqu'à une durée de 5 jours. Ou effets de santé réversible.	Majeur : Blessure ou impact Santé majeur: Affectant la capacité de travail durant une période plus longue. Ou affectant les activités de la vie quotidienne sur une durée supérieure à 5 jours. Ou dommages santé irréversibles	Catastrophique : Incapacité Permanente ou Décès: En lien avec la blessure ou la maladie professionnelle.

Tableau A.2 : Échelle de probabilité

Niveau de probabilité (NP)	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
Appréciation	Extrêmement improbable : Le dommage apparaît très rarement (1 fois par 5 ans)	Très improbable : Le dommage apparaît rarement (1 fois par 2 ans)	Peu probable : Le dommage apparaît occasionnellement (2 fois par an)	Probable : Le dommage apparaît fréquemment (plus de 1 fois par mois)	Très probable : Le dommage apparaît souvent (au moins 1 fois par 2 semaines)

Tableau A.3 : Matrice de criticité

			Gravité				
			Négligeable	Modéré	Sérieux	Majeur	Catastrophique
			1	2	3	4	5
Probabilité	Extrêmement improbable	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	Très improbable	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	Peu probable	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	Probable	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
	Très probable	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5

Tableau A.4 : Niveau de risque

Zone	Rouge	Jaune	Verte
Appréciation	Risque inacceptable, il nécessite une nouvelle évaluation des risques	ALARP (As Low As Reasonably Possible) un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.	Risque résiduel, compte tenu des mesures de maîtrise du risque, est modéré et n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident.

Tableau A.5 : Analyse préliminaire des risques appliquée à la ligne de cuisson

N°	SS	ED	SD	ENS	Causes	Conséquences	Niveau de risque			Mesures de prévention	P'	Mesures de protection	G'	C'
							P	G	C					
1	Préchauffeur à cyclones (tour)	-Matière chaude. -Gaz chaud du four. Gaz naturel. -Air sous Pression de l'air choc	-Circulation de la matière chaude à travers les cyclones. -injection de gaz naturel à Pression élevé dans le calcinateur. Tirage (ID-FAN) du gaz chaud dans les cyclones et le calcinateur. -déclenchement des air choc. Gaz naturel dans les conduites.	Bourrage des cyclones.	-Usure des briques -Calcination des jupes des cyclones -Concrétion de la matière chaude. - Air choc défaillant.	-Accumulation de la matière chaude (1000°C). -Perturbation dans le tirage des gaz (ID-FAN) induit la perte de la flamme . -Présence de Gaz imbrulé dans le four à température élevée. augmentation de la pression des gaz. -Explosion. -perte de production.	3	4	34	Personnels habilités (travail sur le processus pour éviter les causes). Contrôle des fuites des jupes cyclones. Contrôle la pression dans les zones à risque chute (C5 et C4) -Signalisation et affichage des risques. Maintenance préventive	2	-Accès contrôler à la tour -Installation des douches, lave yeux, des passerelles, échappatoire et des zones à repos sur tous les étages.	3	23
				-Fuite externe de gaz naturel dans le calcinateur	-Vieillessement et usure des injecteurs de gaz, mauvaise connexion et serrage -instrumentation -Usure de flexible. -Agression externe (travaux, chocs)	-Formation d'un nuage de gaz inflammable. UVCE surpression et thermique. Feu de torche à effet thermique. -Arrêt de production.	2	3	23	-Electrovanne d'isolement du portique gaz -Equipement de Mesure manuel de teneur de gaz à l'air libre.	1	-	3	13

				-Fuite de gaz naturel dans le portique gaz calcinateur	-Usure et perte d'étanchéité des électrovannes d'isolement de gaz. -Rupture de conduite. -Agression externe (travaux, chocs) -Instrumentation	-Formation d'un nuage de gaz inflammable. Feu de torche à effet thermique avec présence d'une source d'inflammation	2	3	23	-Personnels habilités. -Deux vanne de test de fuite. -Vanne de sécurité (déclenchement automatique sur chute de pression et pression haute).	1	Moyens d'extinction Fonctionnement de la chaîne de sécurité.	2	12
				-Perte de confinement dans le calcinateur	-Usure des briques réfractaires. -Augmentation de température	Chute des briques réfractaires et bouchage à l'entrée du four. -Perturbation du tirage des gaz chaud (ID-FAN) induit la perte de la flamme. -Présence de Gaz imbrulé dans le four à température élevée. -Augmentation de pression des gaz. -Explosion dans le four. -Feu de torche et projection de matière chaude dans le calcinateur.	2	4	24	-	2	-Analyseur de gaz. -Système automatique de coupure de gaz.	3	23

			-Arrêt brusque du ventilateur ID-FAN.	L'endommagement des paliers. -Usure de l'arbre du ventilateur. -Grippage des roulements. -Coupure d'électricité.	-Pas de tirage des gaz chaud. 1-ratage d'allumage pendant la chauffe, avec présence de gaz imbrulé (Ch4) dans le four. 2-Accumulation des gaz chaud (CO) induit la perte de flamme, avec la présence des gaz imbrulé (Co-Ch4) -Explosion avec présence de source d'inflammation.	3	4	34	Système de maintenance automatique du ventilateur.	2	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Capteur (température, vibration)	3	23
			-Fuite de gaz et matière chaude (1000°C) par les ouvertures, les portes de visite et les clapets	-Usure des clapets. -Faute de l'opérateur. -Arrêt de ID-FAN. -Mauvaise étanchéité des ouvertures.	-Passage en pression de la tour. -Bourrage des cyclones.	3	2	32	- procédures de consignation et entretien. -Air choc -Cuve de récupération.	2	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Installation des douches, lave yeux, des passerelles, échappatoire et des zones à repos sur tous les étages- -Tenue première ligne	1	21
			-Echappement brusque de l'air comprimé des Air choc.	Usure et perte de confinement	Passage en pression tour (1000°C) -bourrage de la matière chaude. -appareil sous pression risque de percussion de projectile	2	2	22	-procédure de consignation des air choc. -Opération d'entretien	1	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Tenue première ligne	1	11

				-Fuite de matière chaude dans la tour.	Usure et perte de confinement.	Départ de feu sur les câbles électriques.	3	2	32	-signalisation et affichage des risques de chute de matière chaude.	2	-Installation des douches, lave yeux, des passerelles, échappatoire et des zones à repos sur tous les étages.	1	21
				-Arrêt brusque de l'un des ventilateur de tirage EP(200-600).	L'endommagement des paliers. -Usure de l'arbre du ventilateur. -Grippage des roulements. -Coupure d'électricité.	-Pas de tirage des gaz chaud. -Accumulation des gaz chaud dans la tour (280°C). 1-ratage d'allumage pendant la chauffe , avec présence de gaz imbrulé (Ch4) dans le four. 2-Accumulation des gaz chaud (CO) induit la perte de flamme , avec la présence des gaz imbrulé (Co-Ch4) -Explosion avec présence de source d'inflammation.	2	4	24	Système de maintenance automatique du ventilateur -Restriction d'accès à la zone. Opérations de Nettoyage et équilibrage des ventilateur et Instrumentation.	1	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Capteur (température, vibration)	3	13

				déclenchement des Air choc boite à fumée (BAF).	-Maintenance de la boite à fumée -Arrêt de l'ID-FAN.	-Passage en pression de la boite à fumée (1000°C). -blessure	3	2	32	Consignation des Air choc. -Restriction d'accès à la zone.	2	-Installation des douches, lave yeux, et échappatoire.	1	21
				déclenchement des Air choc boite à fumée (BAF).	-le retrait de la Sonde gaz de l'analyseur boite à fumée. -Arrêt de l'ID-FAN.	-Passage en pression de la boite à fumée (1000°C). -blessure	3	2	32	-Fermeture de la bride après retrait de la sonde. -Consignation des Air choc -Restriction d'accès à la zone.	2	-Installation des douches, lave yeux, et échappatoire.	1	21
				déclenchement des autres Air choc de la tour	-Entretien des Air choc -Arrêt de l'ID-FAN.	-Passage en pression de la tour (1000°C). -blessure	3	2	32	Consignation des Air choc.	2	Restriction d'accès à la zone.	1	21
2	Four	-Matière chaude. -Gaz chaud du four. -Gaz naturel	-Circulation de la matière chaude dans le four. -rotation du four avec inclinaison. -injection de gaz naturel à Pression élevé dans le four. Tirage (ID-FAN) du gaz chaud. Gaz naturel dans les conduites du portique gaz	déséquilibre du four.	-Défaillance de la Butée hydraulique. -Chute de pression de descente. -Rupture des Vis. -Grippage des roulements.	-Retour brusque du four. -Endommagement du four. -arrêt de production	2	3	23	-Capteur de position	1	-Levier de position de protection.	2	12

				-Perte de confinement du joint amont du four.	-Formation d'anneaux. -Concrétion au niveau de la boîte à fumée. Mauvaise étanchéité Rupture des écailles. Détachement des plaques noeing. -Rupture de la glisse.	-Chute de la matière chaude (1000°C) sur des câbles électriques et des ouvriers. -Départ d'incendie. Remontée des gaz et poussières chaude.	2	3	23	-Programme systématique de maintenance du joint (réparation du béton entrée four, joint air choc). -Optimisation de la chimie clinker en amont. -Programme de nettoyage de la BAF.	1	Case de récupération matière joint amont.	2	12
				-Perte de confinement de la case de récupération de matière joint amont.	Usure du bec d'écoulement.	Stockage excessif des poussières chaudes (900°C) du joint amont dans la chambre a récupération de poussières. Brulure.	2	2	22	-Manutention de la matière chaude. -Restriction d'accès à la zone.	1	-Tenue d'approche.	1	11
				-Retour de flamme du bruleur (1200°C)	-Défaillance du système d'aéraulique du four. -Coupure ou panne électrique. -Contact avec les surfaces chaudes.	-Passage en pression du capot de chauffe. -Explosion de gaz.	4	3	43	-Etalonnage systématique des capteur et détecteur. -Fiabilité des ventilateurs de tirage. Caméra. -Restriction des accès a la zone (porte fermé).	3	-Minimiser le temps d'exposition. -Système automatique de coupure de gaz naturel. -Tenue Nomex +cagoule.	2	32

				<p>-Perte de flamme du brûleur pendant la chauffe.</p>	<p>-Défaillance des vannes d'isolement et de régulation.</p> <p>-défaut dans l'air primaire et secondaire</p> <p>-perturbation des ventilateurs de tirage EP(200-600) ID-FAN.</p> <p>Bourrage de la matière chaude.</p>	<p>-Accumulation de gaz imbrulé (CO-CH4) dans le four.</p> <p>-Explosion avec présence de source d'inflammation.</p>	4	4	44	<p>-Caméra dans la salle de contrôle.</p> <p>Procédure d'allumage.</p> <p>-Réglage du processus,</p> <p>Tirage et tuyère.</p> <p>-Maintenance des équipements</p>	3	<p>-Détecteur de flamme</p> <p>-Analyseur de gaz (CH4-CO-SO2-NOx)</p> <p>-Purge des gaz dans le four.</p> <p>Fonctionnement de la chaîne de sécurité.</p>	3	33
				<p>-Ratage d'allumage pendant le démarrage du four après un arrêt.</p>	<p>-Défaut allumeur.</p> <p>-Défaillance des vannes d'isolement.</p> <p>-défaut dans l'air primaire et secondaire</p> <p>-perturbation des ventilateurs de tirage EP(200-600) ID-FAN.</p>	<p>-Accumulation de gaz naturel dans le four.</p> <p>-Explosion avec présence de source d'inflammation.</p>	4	4	44	<p>-Caméra dans la salle de contrôle.</p> <p>Procédure d'allumage.</p> <p>-Réglage Tirage et tuyère.</p> <p>-Maintenance des équipements</p>	3	<p>-Détecteur de flamme</p> <p>-Analyseur de gaz (CH4-CO-SO2-NOx)</p> <p>-Purge des gaz dans le four.</p> <p>Fonctionnement de la chaîne de sécurité.</p>	3	33

				<p>-Fuite de gaz naturel dans le portique gaz bruleur.</p> <p>-Défaillance des vannes d'air comprimé.</p> <p>-Défaillance des électrovannes d'isolement de gaz.</p> <p>-Rupture du chariot porteur du bruleur.</p> <p>-Rupture des conduites de gaz.</p> <p>-agression externe (travaux, chocs).</p>	<p>-Formation d'un nuage de gaz inflammable.</p> <p>Feu de torche à effet thermique avec présence d'une source d'inflammation.</p>	2	4	24	<p>-Personnels habilités.</p> <p>-Deux vannes de test de fuite.</p> <p>-Vanne de sécurité (déclenchement automatique sur chute de pression et pression haute).</p>	1	<p>Moyens d'extinction.</p> <p>Fonctionnement de la chaîne de sécurité.</p>	3	13
			<p>-Rupture de la structure du four et la gaine d'air tertiaire.</p> <p>-Mauvaise qualité du brique réfractaire.</p> <p>-Chute de brique réfractaire.</p> <p>-Vieillessement de la structure.</p>	<p>-Rupture de la paroi du four et de la gaine de l'air tertiaire.</p> <p>-Création de tache rouge et fuite de gaz et matière chaude.</p> <p>-arrêt de production.</p>	1	3	13	<p>-Signalisation.</p> <p>-Contrôle et maintenance.</p>	1	<p>-Restriction des accès à la zone.</p>	2	12	

				Perte de confinement virole du four.	-Mauvaise positionnement de la tuyère du bruleur -Création de tache rouge dans la structure de la virole -Chute de brique réfractaire.	-Fuite de gaz et matière chaude de la structure de la virole du four. -Rupture de la structure du four. -arrêt de production.	2	2	22	-Respect des règles de réglage de la tuyère. -Caméra -Restriction des accès à la zone.	1	Contrôle de température.	1	11
				-Croutage de la matière chaude (vérole)	-Mauvaise combustion. Problème dans la chimie. Chute de réfractaire Air choc défaillant	-chute de la matière chaude à 1450°C sur le bruleur. -arrêt du four et production.	3	2	32	-Caméra -Limitation et contrôle d'accès.	2	-Tenue Nomex +cagoule. Cuve de récupération.	1	21
				-Fissure brusque dans le réfractaire du bruleur.	Réfractaire de mauvaise qualité. Faute dans l'exécution des travaux de maintenance. Par l'opérateur	Endommagement du bruleur. Perte de flamme ou ratage d'allumage pendant la reprise d'allumage Présence de gaz imbrulé dans le four Explosion avec présence de source d'inflammation.	3	4	34	-Caméra -Opération de maintenance curatif du réfractaire du bruleur.	2	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Pré ventilation du four.	3	23

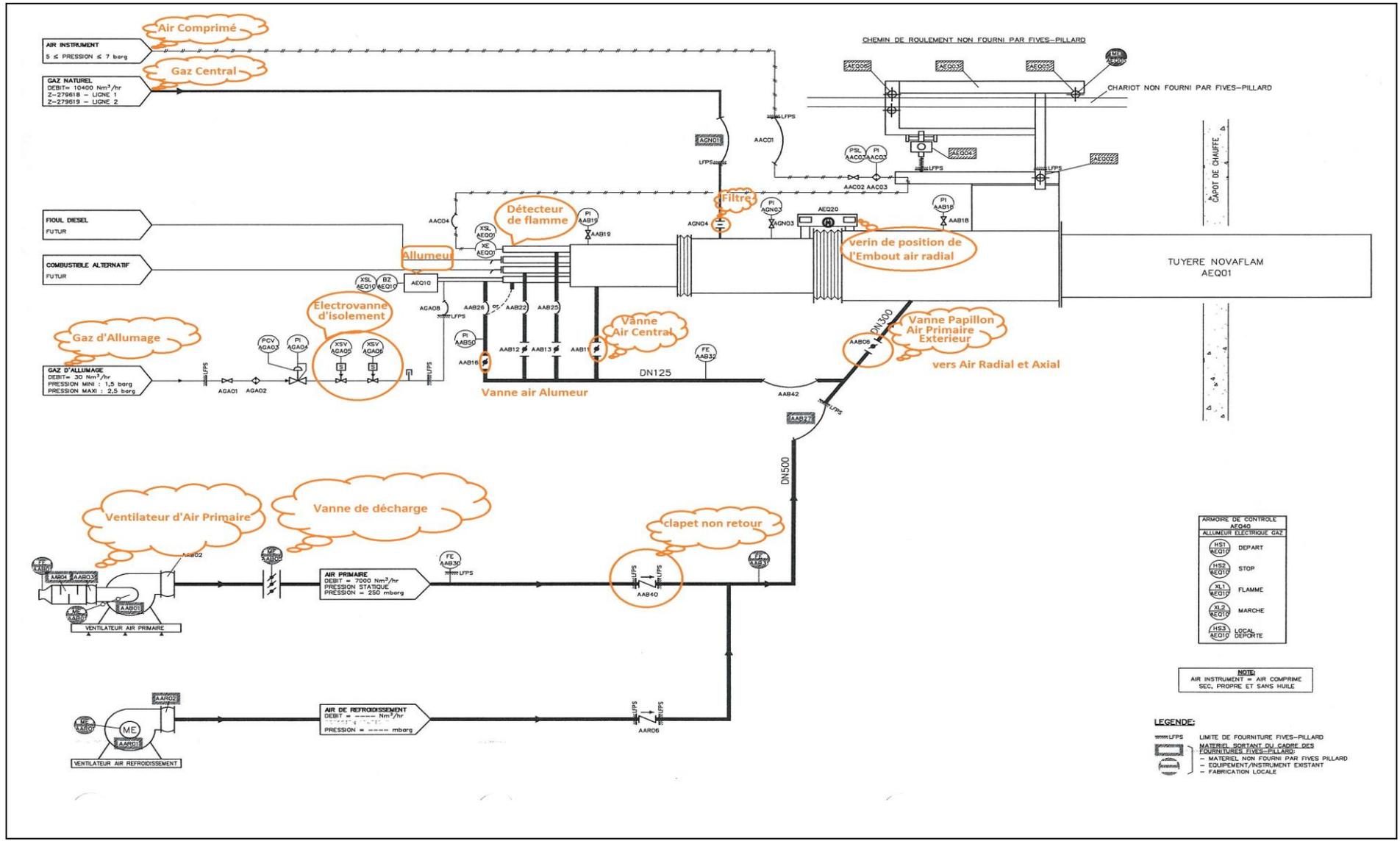
			- allumage retarder	-Défaut allumeur. -utilisation de la torche pour le rallumage. -défaut dans l'air primaire et secondaire. -perturbation des ventilateurs de tirage EP(200-600) ID-FAN.	-Accumulation de gaz naturel dans le four. -Explosion avec présence de source d'inflammation.	3	4	34	-Procédure d'allumage. -Caméra	2	-Détecteur de flamme. -Pré ventilation du four.	3	23
			-Combustion incontrôlé.	-présence d'impureté dans le gaz. -Défaut filtre ou -Défaut by-passe. Défaut allumeur. Défaut air primaire ou secondaire. Défaut tirage.	-Accumulation de gaz imbrulé (CO) dans le four. - perte de flamme pendant la chauffe ou ratage d'allumage pendant le rallumage du bruleur. Explosion avec présence de source d'inflammation.	3	4	34	-Caméra -Entretien et maintenance.	2	-Pré ventilation du four. -Analyseur de gaz.	3	23

3	Refroidisseur	-Air comprimé -huile de la chambre hydraulique -Matière chaudes -air chaud Gaz chaud avec tirage.	-Circulation de la matière chaude dans le refroidisseur Tirage (ID-FAN) du gaz chaud. Air sous forme comprimé des canon d'air -Utilisation de l'huile avec de l'électricité.	-Chute de brique réfractaire du capot de chauffe	-Chaleur radiante de caising (1050-150°C)	-Avalanche de la matière chaude. -Rupture et affaissement de la structure du refroidisseur ainsi détérioration brûleur du four. Arrêt de production.	2	3	23	-Inspection et réparation réfractaire, la qualité et la conception des parois et le toit -Vérification de la qualité des travaux. -Limitation et contrôle d'accès.	1	-Ecran de protection et bamacade.	2	12
				-Fuite de gaz et de matière chaude des portes de visite et portes principal de maintenance.	-Mauvaise qualité et conception des portes -Usure des joints. -Travaux de maintenance mal exécuté.	-Avalanche de la matière chaude (1050-150°C). -Projection de gaz et matière chaude. (blessure -brulure.)	3	2	32	-Isolation par bamacade. -signalisation et affichage des risques. -Limitation et contrôle d'accès.	2	-Tenue Nomex +cagoule.	1	21
				Excès de clinker dans le refroidisseur	- infiltration du clinker dans la chambre d'air -Une grande hauteur de couche du clinker refroidisseur surchargé -Une vitesse élevé des grilles	Moins de récupération de chaleur Pas d'échange de thermique. Perturbation du tirage des gaz chaud (EP-FAN). Perte de flamme présence de gaz imbrulé dans le four Ratage d'allumage lors de la reprise d'allumage de la tuyère Explosion avec présence de source d'inflammation.	3	4	34	-Isolation par bamacade. -signalisation et affichage des risques -Limitation et contrôle d'accès.	2	-Tenue Nomex +cagoule.	3	23

				-Croustage de la matière chaude (clinker) concasseur.	-Mauvaise combustion. -Problème dans la chimie.	-Fuite de la matière chaude a 250°C. -Arrêt du four et production. -Feu sur les courroies et les câbles électriques.	3	2	32	-Isolation par <u>barricade</u> .	2	-Limitation et contrôle d'accès. -Tenue <u>Nomex</u> +cagoule.	1	21
				Usure de la chaîne transporteuse sous le refroidisseur	-Chute de réfractaire Vieillessement de la structure.	-Chute de la matière. -Rupture de la chaîne transporteuse.	1	3	13	-Contrôle et <u>Maintenance</u> .	1	Zones de protection.	2	12
				-Arrêt des ventilateurs de refroidissement	-L'endommagement des paliers. -Usure de l'arbre du ventilateur. -Grippage des roulements. -Coupure de l'électricité.	-Avalanche matière chaude. -Coupure d'alimentation du four en air secondaire. perte de flamme avec la présence des gaz imbrulé (Co-Ch4) dans le four. -Accumulation des gaz chaud. -Explosion avec présence de source d'inflammation. -arrêt du four et	4	3	43	-Contrôle et <u>Maintenance</u> .	3	Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Pré ventilation du four. - Analyseur de gaz.	2	32

			-Arrêt des ventilateurs de refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> -L'endommagement des paliers. -Usure de l'arbre du ventilateur. -Grippage des roulements. -Coupure de l'électricité. 	<ul style="list-style-type: none"> -Avalanche matière chaude. -Coupure d'alimentation du four en air secondaire. perte de flamme, avec la présence des gaz imbrulé (Co-Ch4) dans le four. -Accumulation des gaz chaud. -Explosion avec présence de source d'inflammation. -arrêt du four et production. 	4	3	43	-Contrôle et Maintenance.	3	<ul style="list-style-type: none"> -Fonctionnement de la chaîne de sécurité. -Pré ventilation du four. - Analyseur de gaz. 	2	32
			-Fuite d'huile dans la chambre hydraulique.	<ul style="list-style-type: none"> -Perte de confinement -Usure et vieillissement des joints. -Obturation des échappements -Echauffement d'huile. 	<ul style="list-style-type: none"> -Départ de feu et Explosion -création d'onde de choc avec projection d'éclats -Dégâts matériel important. 	3	2	32	<ul style="list-style-type: none"> -Mesures de contrôle. -Personnels habilités. 	2	-Moyen d'extinction	1	21
			-Rupture de commande grille.	<ul style="list-style-type: none"> -Mauvaise étanchéité des arbres de commande et arbres intermédiaire. -Usure des composants, qualité et conception. 	<ul style="list-style-type: none"> Avalanche de la matière chaude (1050-150°C). Brûlure. Feu câbles électriques 	2	2	22	<ul style="list-style-type: none"> -Isolation par barricade. -Limitation et contrôle d'accès. 	1	-Tenue Nomex +cagoule.	1	11

Annexe B
(Schéma des fluides)



ARMOIRE DE CONTROLE AEO40	
ALLUMAGE ELECTRIQUE GAZ	
(HST) REC10	DEPART
(HSE) REC10	STOP
(XLT) REC10	FLAMME
(XLT) REC10	MARCHE
(HST) REC10	LOCAL DEPORTE

NOTE:
AIR INSTRUMENT = AIR COMPRISE SEC, PROPRE ET SANS HUILE

LEGENDE:
 LPPS LIMITE DE FOURNITURE FIVES-PILLARD
 MTR MTR MATRIEL SORTANT DU CADRE DES EQUIPEMENTS FIVES-PILLARD
 - MATRIEL NON FOURNI PAR FIVES PILLARD
 - EQUIPEMENT/INSTRUMENT EXISTANT
 - FABRICATION LOCALE

Figure B.1 : Schéma fluide du portique gaz [26]

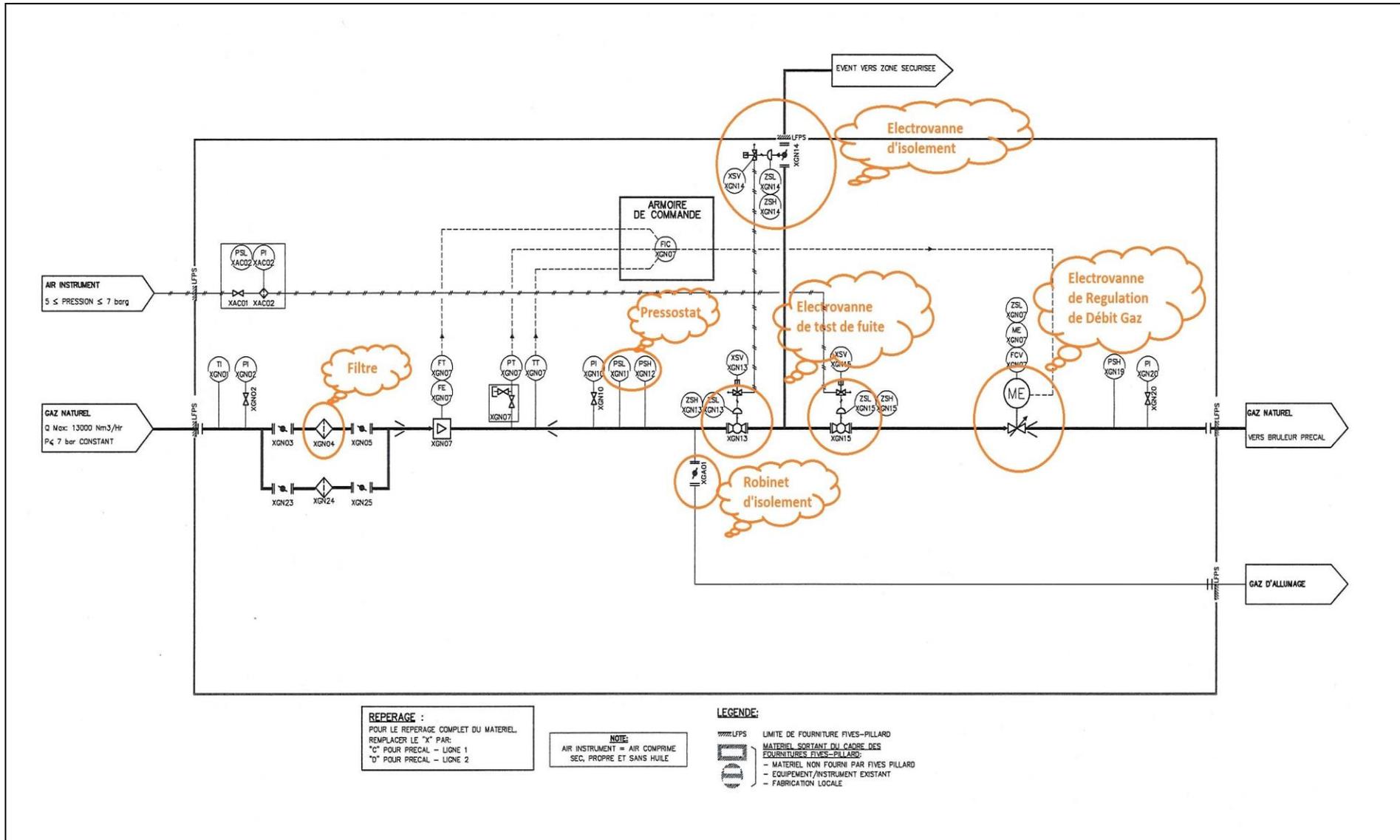


Figure B.2 : Schéma fluide de la tuyère [26]

Annexe C

(AdD, AdE, Scénarios d'explosion)

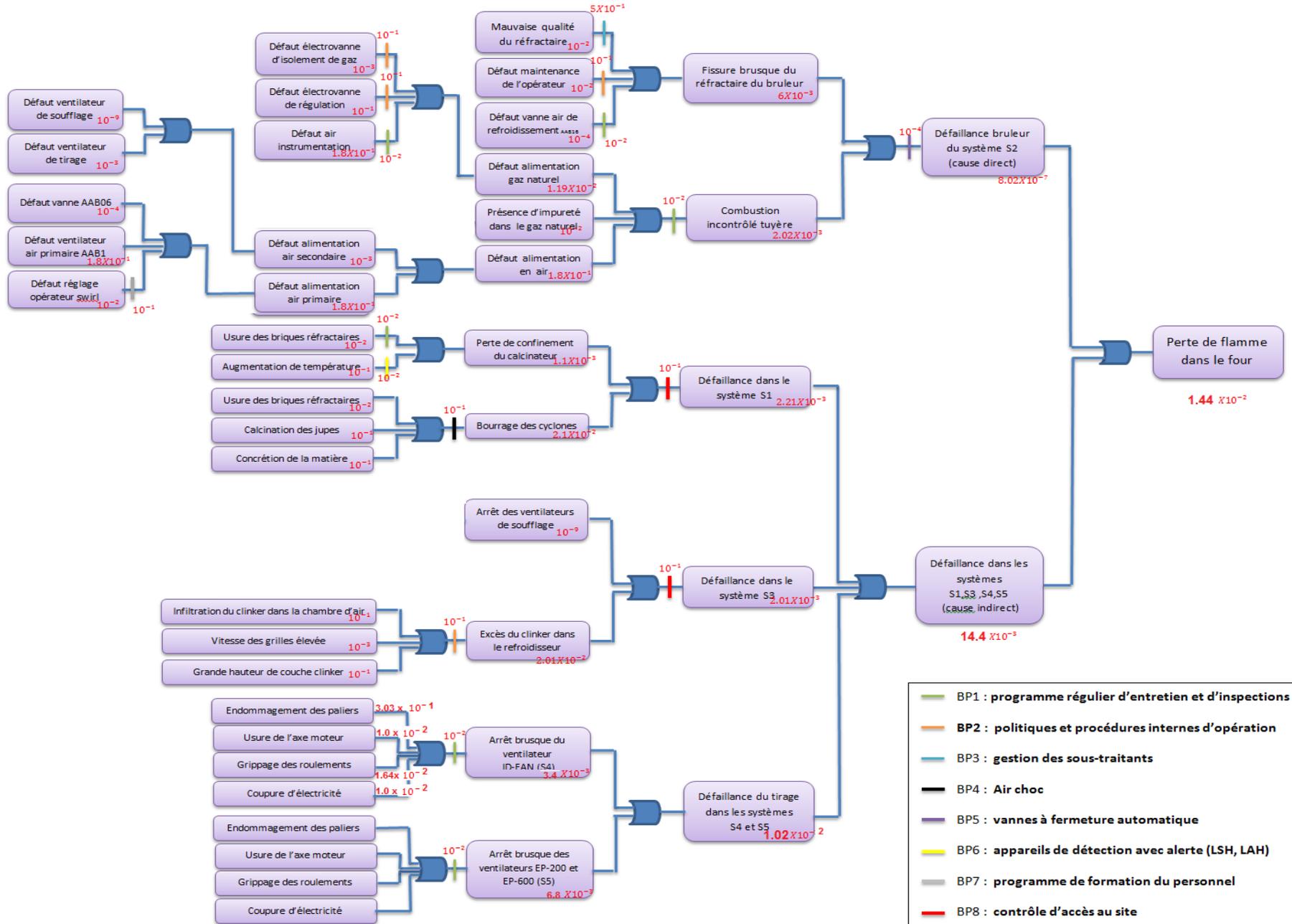


Figure C.1 : Add de l'ER1 « perte de la flamme dans le four »

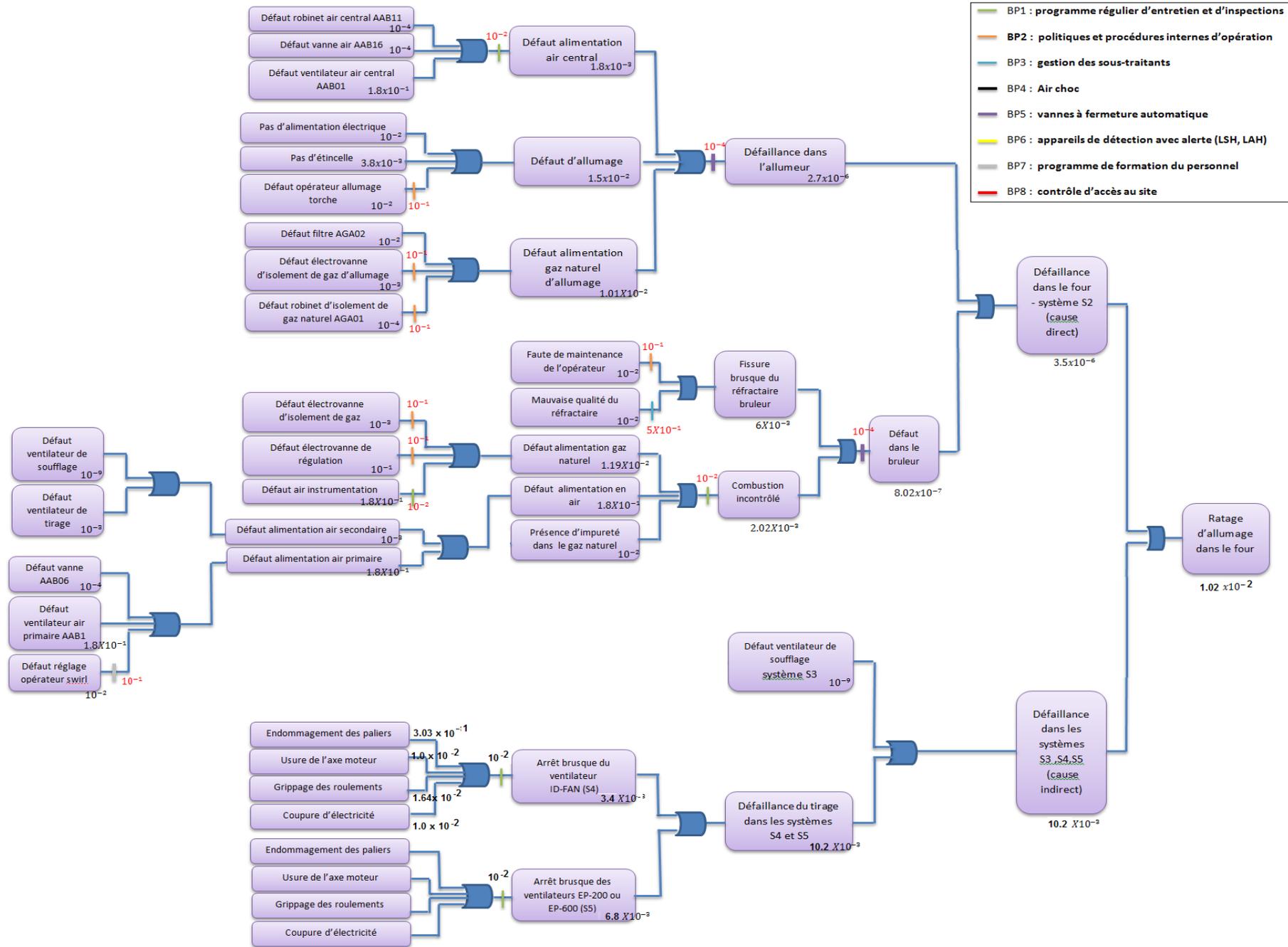


Figure C.2 : AdD de l'ER2 « ratage d'allumage dans le four »

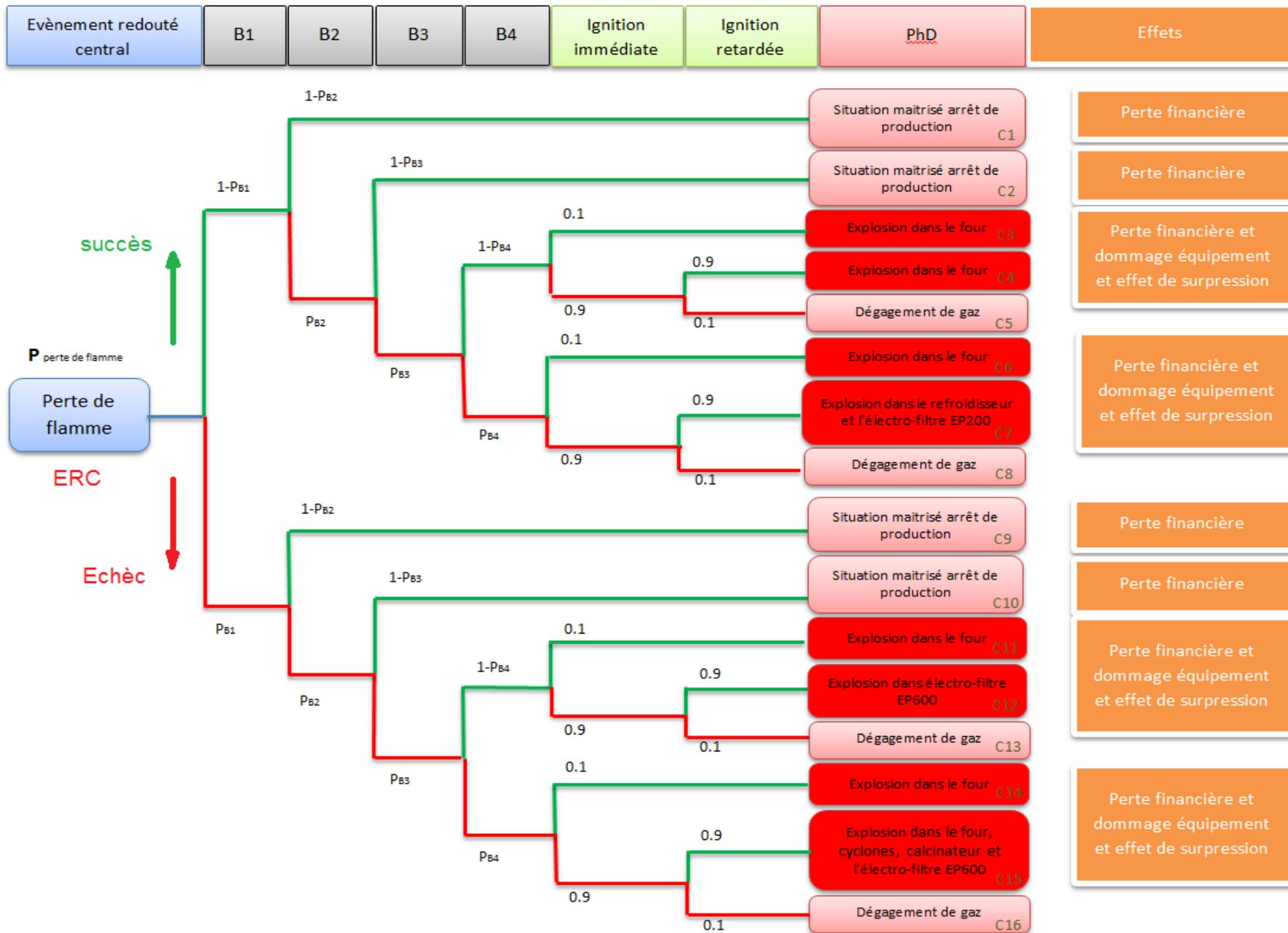


Figure C.3 : AdE de l'ER1 « perte de flamme dans le four »

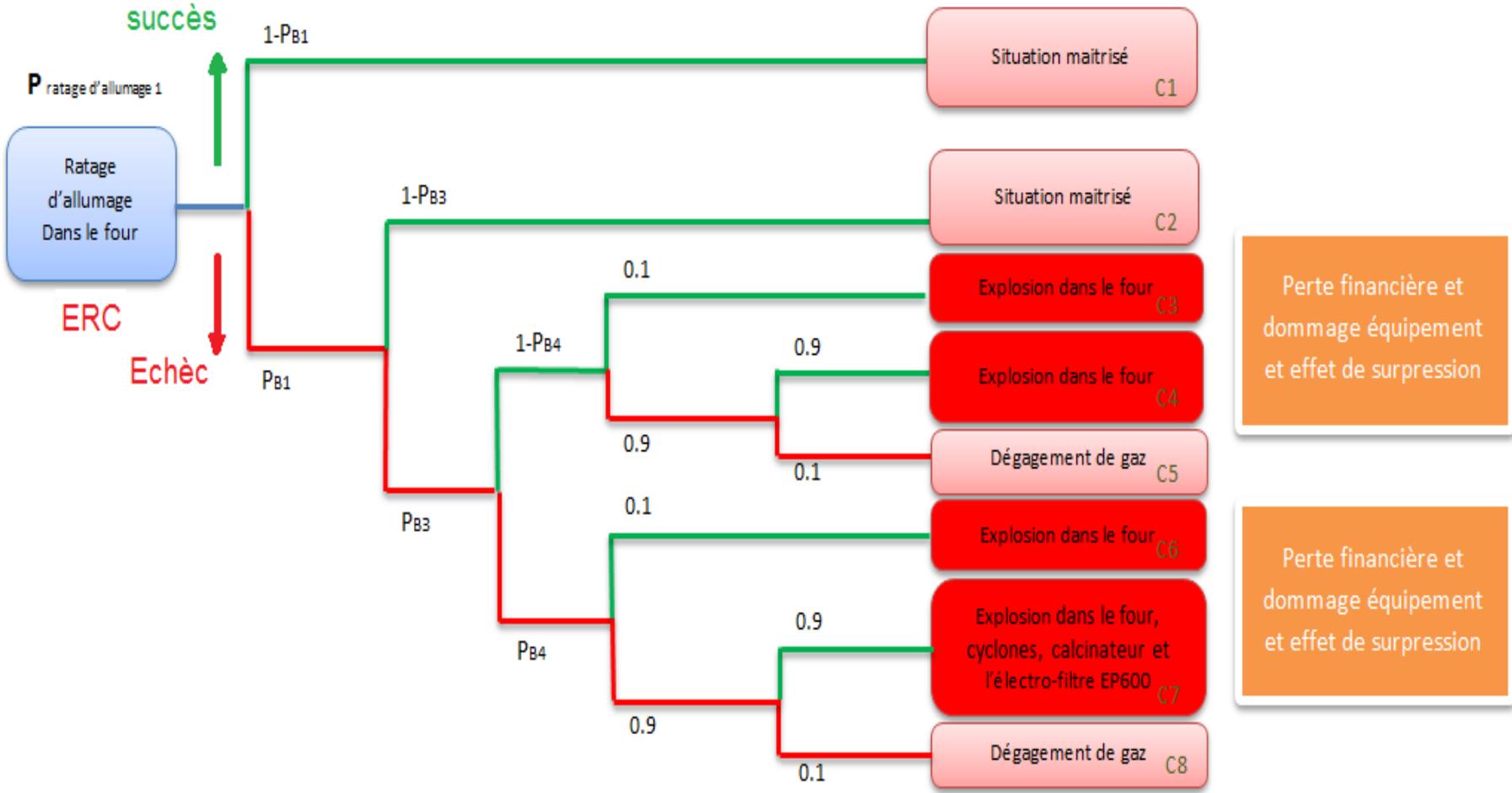


Figure C.4 : AdE de l'ER2 « ratage d'allumage dans le four »

Scénario N°1 :

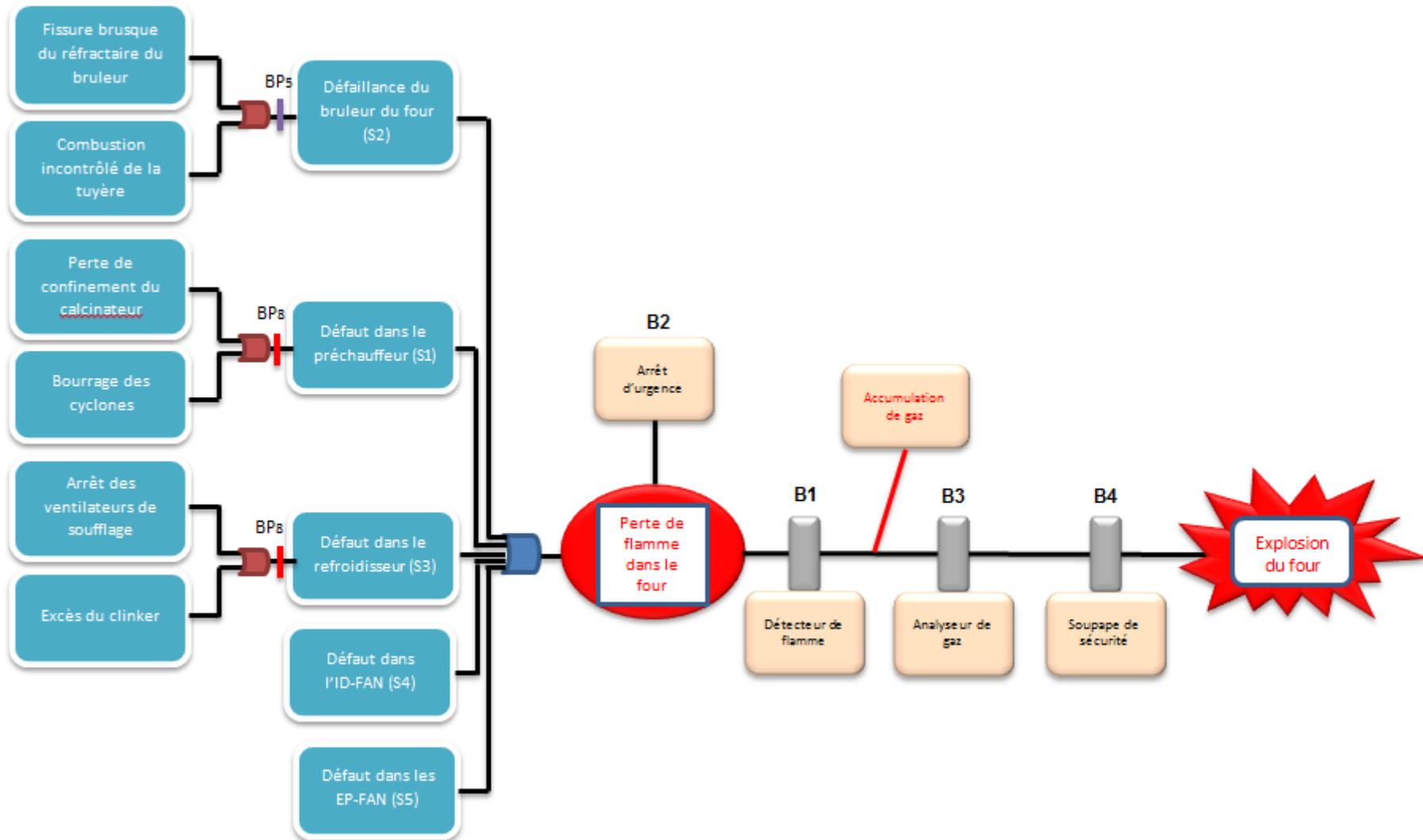


Figure C.5 : Scénario N°1 d'explosion suite à la perte de flamme dans le four

Scénario N°2 :

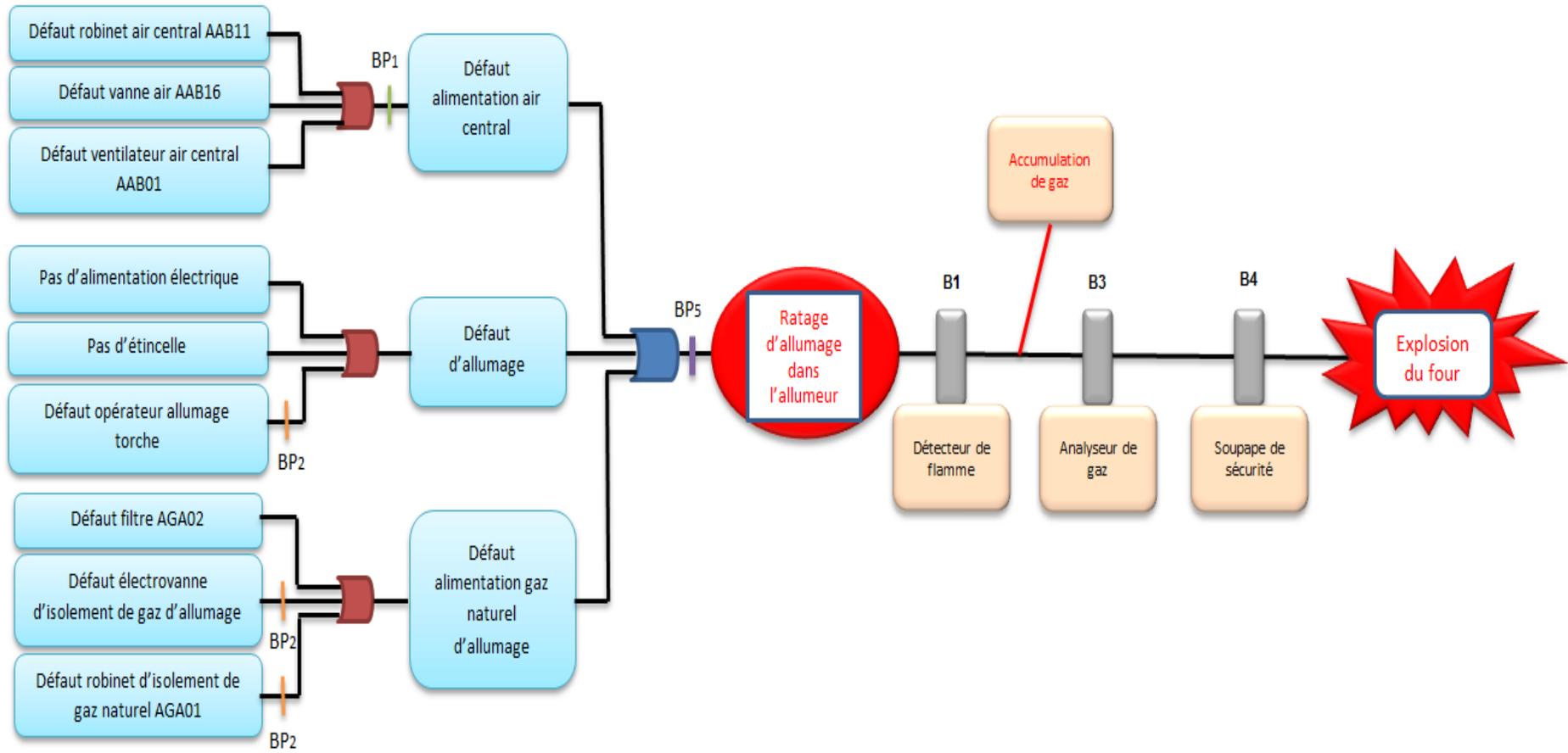


Figure C.6 : Scénario N°2 d'explosion suite au ratage d'allumage dans l'allumeur

Scénario N°3 :

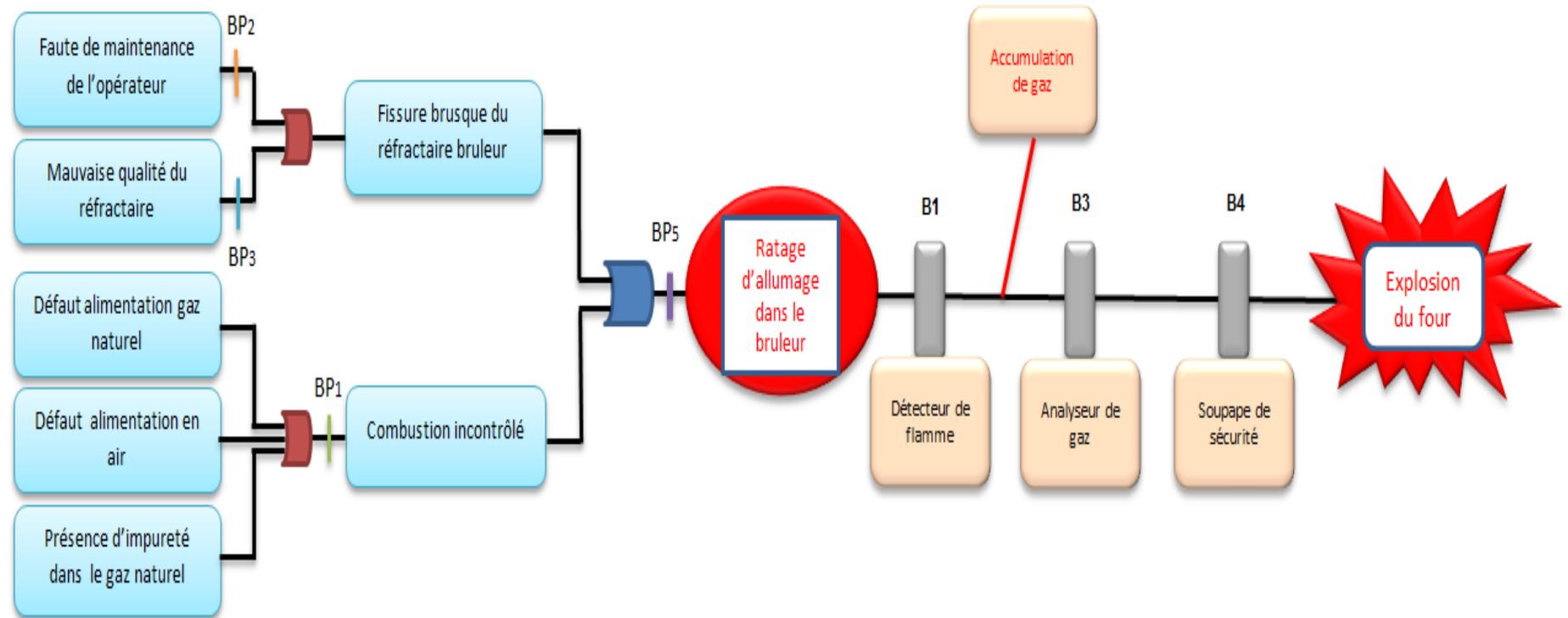


Figure C.7 : Scénario N°3 d'explosion suite au ratage d'allumage dans le bruleur