

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux

Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en QHSE-GRI

Contribution à l'amélioration de la Gestion des Risques Industriels et évaluation
de la fiabilité des barrières par LOPA et élaboration d'un Plan de Maintenance.

Cas : Raffinerie de l'Huile Alimentaire Cevital Bejaia

Halim CHEKABA & Kenza LAHBIB

Sous la direction de :

M.Amine BENMOKHTAR	Encadrant	Maître de Conférence A	ENP
M.Hamid YOUSFI	Encadrant	Professeur	ENP
Mme Rayene GUEZZANE	Encadrante	Doctorante	ENP

Présenté et soutenu publiquement le (03/07/2023) devant le jury composé de :

Mme.Souad BENTAALA-KACED	Présidente	Maître de Conférence B	ENP
M. Mohamed BOUBAKEUR	Examineur	Maître Assistant A	ENP
M. Mhamed BOUSBAI	Examineur	Maître de Conférence B	ENP

ENP 2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux

Filière : QHSE-GRI

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en QHSE-GRI

Contribution à l'amélioration de la Gestion des Risques Industriels et évaluation
de la fiabilité des barrières par LOPA et élaboration d'un plan de maintenance.

Cas : Raffinerie de l'Huile Alimentaire Cevital Bejaia

Halim CHEKABA & Kenza LAHBIB

Sous la direction de :

M.Amine BENMOKHTAR	Encadrant	Maître de Conférence A	ENP
M.Hamid YOUSFI	Encadrant	Professeur	ENP
Mme Rayene GUEZZANE	Encadrante	Doctorante	ENP

Présenté et soutenu publiquement le (03/07/2023) devant le jury composé de :

Mme.Souad BENTAALA-KACED	Présidente	Maître de Conférence B	ENP
M. Mohamed BOUBAKEUR	Examineur	Maître Assistant A	ENP
M. Mhamed BOUSBAI	Examineur	Maître de Conférence B	ENP

ENP 2023

Dédicaces

Je dédie ce travail en premier lieu à mes parents, les personnes les plus dignes d'admiration à mes yeux. Vous vous êtes sacrifié pour élever vos trois enfants et faire d'eux des personnes qui ont réussi à partir de rien. Je ne vis que pour vous rendre heureux et fiers, j'espère y arriver. Je vous aime plus que tout et de raison.

A mes deux merveilleuses soeurs, Kahina et Katia vous m'avez toujours encouragée et soutenue, j'ai énormément de chance de vous avoir.

A ma très chère grand mère qui nous a quitté beaucoup trop tôt, nous nous t'oublierons jamais. J'espère que tu te reposes en paix de là tu es.

A mes tantes, qui étaient à mes côtés durant cette période

A mes incroyables amis, toujours là pour m'écouter et m'épauler : Yousra et Basma.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon binôme pour son engagement constant et son professionnalisme exemplaire tout au long de notre stage.

A mon bras droit et meilleur ami Nasreddine qui était toujours là à m'écouter et me soutenir

Kenza

Dédicaces

À ma mère, mon père qui m'ont toujours soutenu.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

À mes frères AKLI et AMINE et mes sœurs IMENNE, RANIA ET DIHYA

À ma binôme, pour avoir fait preuve de sérieux et de rigueur tout au long du stage..

À tous mes amis et mes proches.

Je dédie ce modeste travail.

Halim CHEKABA

Remerciements

Il nous est nécessaire de remercier toutes les personnes qui nous ont aidées et guidées pour la réalisation de ce mémoire :

En premier lieu, notre reconnaissance se dirige vers Monsieur A.Benmokhtar, Monsieur H.Yousfi et Madame R.Guezzane, nos promoteurs, vos remarques ont toujours été des plus constructives, merci pour votre temps et votre considération à notre égard.

En second lieu, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à Madame Bentalla qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Nous souhaitons adresser nos plus sincères remerciements à Monsieur Boubakeur et Monsieur Bousbai pour l'effort considérable qu'ils ont déployé en évaluant notre travail. Leur engagement et leur dévouement à cette tâche ont grandement contribué à la rigueur et à l'intégrité de notre travail.

Nous remercions aussi l'ensemble de l'équipe pédagogique du département MRIE, plus particulièrement Reda

Il nous tarde aussi de remercier l'équipe Cevital :

Monsieur Haddad , superviseur HSE à Cevital, de nous avoir fait confiance et accepté parmi les membres de son équipe.

ملخص

يتكون هذا العمل من ثلاثة أجزاء. الجزء الأول يتناول وضع السياق للمشروع من خلال نظرة عامة على مجموعة سيفيتال وعملية التكرير، ووصف لعملية إدارة المخاطر التي تتبع في منهجية العمل، ومراجعة نظرية أدوات تحليل المخاطر المستخدمة. الجزء الثاني يتناول تحليل وظيفي لأنظمة المصفاة باستخدام تقنية التحليل والتصميم المنظم (SADT)، بالإضافة إلى تطبيق أساليب التحليل النوعي مثل تحليل المخاطر الأولي (APR) لتحديد الأنظمة الحرجة، وأساليب التحليل الكمي مثل تحليل طبقات الحماية (LOPA) لتقييم الحواجز الواقية الموجودة وتقدير تكرار وقوع الحوادث. بالإضافة إلى ذلك، يستعرض الجزء الأخير المرحلة الأكثر أهمية في العملية. يعتمد على وضع خطة الصيانة الوقائية بهدف منع حدوث المخاطر، وتقليل معدلات فشل المعدات، وضمان استمرارية عمليات المصفاة.

الكلمات المفتاحية تحليل وظيفي: SADT، APR، AMDEC، HAZOP، تكرار وقوع.

Abstract

This work focuses on improving industrial risk management, with the case study being the Cevital oil refinery. It has been divided into three parts. The first part provides a project overview, including an overview of the Cevital group and the refining process, a description of the risk management process followed in the work methodology, and a theoretical review of the risk analysis tools used. The second part addresses the functional decomposition of the refinery systems using **SADT** (Structured Analysis and Design Technique), as well as the application of qualitative analysis methods such as **PRA** (Preliminary Risk Analysis) for identifying critical systems and quantitative analysis methods such as **LOPA** (Layers of Protection Analysis) for evaluating existing protective barriers and estimating the frequency of accidents. Additionally, the last part highlights the most essential step of the process, which is the development of a preventive maintenance plan aimed at preventing the occurrence of risks, reducing equipment failure rates, and ensuring the continuity of refinery operations.

Keywords :Functional decomposition, SADT, PRA,HAZOP , frequency.

Résumé

Ce travail se focalise sur l'amélioration de la gestion des risques industriels, avec pour cas d'étude la raffinerie de l'huile Cevital. Il a été divisé en trois parties. La première partie porte sur la mise en contexte du projet à travers un aperçu sur le groupe Cevital ainsi que le processus de raffinage, une description du processus de gestion des risques suivi dans la méthodologie du travail et enfin une revue théorique sur les outils d'analyse des risques utilisés. La seconde partie traite la décomposition fonctionnelle des systèmes de la raffinerie **SADT** (Structured Analysis and Design Technique) ainsi que l'application des méthodes d'analyse qualitative comme **APR** (Analyse préliminaire des Risques) pour l'identification systèmes critiques et quantitative comme **LOPA** (Layers of Protection Analysis) pour l'évaluation des barrières de protection existantes et l'estimation de la fréquence d'occurrence d'accidents. En plus, la dernière partie expose l'étape la plus essentielle du processus. Elle se base sur l'élaboration d'un plan de maintenance préventive dans le but de prévenir l'apparition des risques, de réduire le taux de défaillance des équipements et garantir la continuité des opérations de la raffinerie.

Mots-Clés : décomposition fonctionnelle, SADT, APR, HAZOP, fréquence d'occurrence.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction Générale	15
1 Contexte générale de l'étude et problématique	18
1.1 Groupe CEVITAL	19
1.1.1 Présentation du Groupe CEVITAL	19
1.1.2 Historique du Groupe	19
1.2 Présentation de l'agro-industrie Cevital	20
1.2.1 Situation géographique de l'entreprise CEVITAL	20
1.2.2 Organisation de l'entreprise CEVITAL	22
1.3 Présentation de l'unité de raffinage de l'huile brute	23
1.3.1 Historique de la raffinerie d'huile	23
1.3.2 Présentation de l'unité de raffinage et son rôle	23
1.3.3 Description du process	24
1.4 Problématique, objectifs et méthodologie	27
1.4.1 Revue accidentologique	27
1.4.2 Objectifs du travail	29
1.4.3 Méthodologie	29
2 Gestion et Méthodes d'Analyse des Risques Industriels	32
2.1 Gestion des risques industriels (GRI)	33
2.1.1 Définitions	33
2.1.2 Démarche de la gestion des risques industriels	34
2.2 Les Méthodes d'Analyse des Risques	35
2.2.1 Analyse Préliminaire des Risques	36
2.2.2 Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)	39
2.2.3 Étude des dangers et des opérabilités Hazard Operability (HAZOP)	42
2.2.4 Arbres de Défaillance	45
2.2.5 Méthode LOPA	46

3	Application des Méthodes d'Analyse des Risques	52
3.1	Identification du système critique	53
3.1.1	Application de l'Analyse Préliminaire des Risques	54
3.2	Analyse approfondie du premier sous système critique : Chaudière à vapeur GMT/HP-1000	63
3.2.1	Analyse approfondie sur le système chaudière à vapeur	66
3.2.2	Analyse des risques par la méthode HAZOP	67
3.2.3	Arbres de défaillance	69
3.3	Analyse approfondie sur le deuxième système critique Séparateur Centrifuge ALFA LAVAL	76
3.3.1	Présentation de Séparateur Centrifuge ALFA LAVAL	76
3.3.2	Analyse des modes de défaillance leurs effets et leurs criticités (AMDEC)	83
3.3.3	Arbres de défaillance	89
4	Evaluation de la fiabilité des barrières de protection par la méthode LOPA	94
4.1	Application de LOPA sur le premier système critique chaudière à vapeur	95
4.1.1	Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer	95
4.1.2	Développement des scénarios d'accidents à évaluer et estimation des conséquences selon les critères d'acceptabilité (grille de criticité)	96
4.1.3	Sélection des scénarios à évaluer	97
4.1.4	Détermination des événements initiateurs et de leurs fréquences	97
4.1.5	Identification des couches de protection indépendantes	98
4.1.6	Détermination des fréquences des scénarios d'accidents	98
4.2	Application de LOPA sur le deuxième système critique séparateur centrifuge	105
4.2.1	Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer	105
4.2.2	Développement des scénarios d'accidents à évaluer et estimation des conséquences selon les critères d'acceptabilité (grille de criticité)	105
4.2.3	Sélection des scénarios à évaluer	106
4.2.4	Détermination des événements initiateurs et de leurs fréquences	106
4.2.5	Identification des couches de protection indépendantes	107
4.2.6	Détermination des fréquences des scénarios d'accidents	107
5	Élaboration d'un plan de maintenance préventive pour la chaudière à vapeur et le séparateur centrifuge	112
5.1	Généralités sur la maintenance	113
5.1.1	Définition de maintenance	113
5.1.2	Objectifs de la maintenance	113
5.1.3	Types de maintenance	114
5.2	Maintenance préventive	114
5.3	Cas de la raffinerie de l'huile Cevital	115
5.3.1	Élaboration d'un plan de maintenance pour la chaudière à vapeur	115
5.3.2	Élaboration d'un plan de maintenance pour le séparateur centrifuge	116
5.4	Proposition d'un prototype d'une application facilitant la maintenance au sein de CEVITAL	117

Conclusion	125
Références Bibliographiques	127
Annexes	130

Liste des tableaux

2.1	Déploiement de l'APR	38
2.2	Modes de défaillance généraux (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985)	40
2.3	Modes de défaillances génériques	41
2.4	Déploiement de l'AMDEC	42
2.5	Signification des mots guides	43
2.6	Répartition des 8 couches de protection définies dans la méthode LOPA	48
3.1	Echelle de probabilité de l'APR	54
3.2	Echelle de gravité de l'APR	55
3.3	Répartition des niveaux de risque	57
3.4	Niveau du risque par système	58
3.5	Répartition des niveaux de risque	59
3.6	Niveau du risque par système	60
3.7	Paramètres de fonctionnement	65
3.8	Décomposition fonctionnelle de la chaudière à vapeur	66
3.9	Choix des nœuds et paramètres	68
3.10	Données AdD 1 pour ER 1	73
3.11	Données AdD 2 pour ER 2	74
3.12	Données AdD 3 pour ER 3	75
3.13	Données techniques du séparateur	78
3.14	Composants de la partie supérieure du séparateur	79
3.15	Grille de cotation des critères fréquence, gravité et non détection	85
3.16	Echelle de criticité	85
3.17	Répartition des Défaillances probables selon leur Niveau de criticité	86
3.18	Répartition des défaillances probables de chaque sous-système selon leur niveau de criticité.	87
3.19	Données AdD 1 pour ER 1	92
3.20	Données AdD 2 pour ER 2	93
4.1	Scénarios d'accidents potentiels possibles pour une chaudière à vapeur	96
4.2	Scénarios à évaluer	97
4.3	probabilité d'occurrence des événements initiateurs	97
4.4	Couches de protection	98
4.5	Probabilité d'occurrence des conséquences	103
4.6	Probabilité d'occurrence des conséquences	104
4.7	Scénarios d'accidents potentiels possibles pour un séparateur centrifuge	106
4.8	Scénarios à évaluer	106
4.9	probabilité d'occurrence des événements initiateurs	107

4.10 Couches de protection	107
4.11 Probabilité d'occurrence des conséquences	110
4.12 Probabilité d'occurrence des conséquences	111

Table des figures

1.1	Situation géographique de l'entreprise CEVITAL(google earth)	21
1.2	Plan de masse du complexe CEVITAL	21
1.3	Structure de CEVITAL.	22
1.4	Étapes du process.	25
1.5	Phénomènes dangereux liés aux accidents par secteurs d'activité	28
1.6	Démarche méthodologique	30
2.1	Étapes clés de gestion des risques industriels	34
2.2	Types de méthodes d'analyse des risques	36
2.3	Principe de l'AMDEC	40
2.4	Principales portes logiques graphiques relatives aux ADD	45
2.5	Différentes couches de protection suivant la méthode LOPA	47
2.6	Différentes couches de protection suivant la méthode LOPA	48
3.1	Diagramme A-0	53
3.2	Matrice de Criticité	55
3.3	Diagramme A0 détaillé	56
3.4	APR système 1	57
3.5	Répartition du niveau risques au sein de la raffinerie d'huile de Cevital (sans barrières de sécurité)	57
3.6	Répartition du niveau du risque par système (sans barrières de sécurité)	58
3.7	Répartition du niveau risques au sein de la raffinerie d'huile de Cevital (avec barrières de sécurité)	59
3.8	Répartition du niveau du risque par système (avec barrières de sécurité)	60
3.9	Répartition des risques dans l'installation de raffinage de l'huile brute	61
3.10	Répartition des phénomènes dangereux parmi les cas impliquant des chaudières à gaz	62
3.11	Circuit de vapeur chaudière vers la colonne de désodorisation	63
3.12	Chaudière à vapeur de type GMT/HP-1000	64
3.13	Composants de la chaudière à vapeur	65
3.14	SADT au niveau A4.33	67
3.15	Arbre de défaillance 1 pour ER1	70
3.16	Arbre de défaillance 2 pour ER2	71
3.17	Arbre de défaillance 3 pour ER3	72
3.18	Séparateur Alfa Laval PX90	77
3.19	Partie supérieure du séparateur	78
3.20	Partie Inférieure du séparateur	79
3.21	Schéma des différents capteurs	80
3.22	Dispositif d'entrée d'huile brute	81

3.23	Turbine centripète (pompe d'évacuation) pour la phase légère du liquide	82
3.24	Schéma d'eau de manoeuvre	82
3.25	Diagramme FAST Séparateur centrifuge ALFA LAVAL	84
3.26	Répartition des défaillances probables selon leur niveau de criticité	86
3.27	Répartition des Défaillances probables de chaque sous-système selon leur Niveau de Criticité.	87
3.28	Arbre de défaillance 1 pour ER1	90
3.29	Arbre de défaillance 2 pour ER2	91
4.1	Grille de criticité adoptée par CEVITAL	95
4.2	Ade 1 pour Ei N°1 pour la chaudière à vapeur	99
4.3	Ade 2 pour Ei N°2 pour la chaudière à vapeur	99
4.4	Ade 3 pour Ei N°3 pour la chaudière à vapeur	100
4.5	Ade 4 pour Ei N°4 pour la chaudière à vapeur	100
4.6	Ade 5 pour Ei N°5 pour la chaudière à vapeur	101
4.7	Ade 6 pour Ei N°6 pour la chaudière à vapeur	101
4.8	Ade 7 pour Ei N°7 pour la chaudière à vapeur	102
4.9	Ade 8 pour Ei N°8 pour la chaudière à vapeur	102
4.10	Ade 9 pour Ei N°9 pour la chaudière à vapeur	103
4.11	Répartition des conséquences	104
4.12	Ade 1 pour Ei N°1 pour le séparateur	108
4.13	Ade 2 pour Ei N°1 pour le séparateur	108
4.14	Ade 1 pour Ei N°2 pour le séparateur	109
4.15	Ade 2 pour Ei N°2 pour le séparateur	109
4.16	Ade 3 pour Ei N°2 pour le séparateur	110
5.1	Types de maintenance	114
5.2	Page d'accueil de l'application	118
5.3	Page d'accès aux équipements	119
5.4	Page de détails sur les équipements	120
5.5	Page pour téléchargement des plans de maintenance et inspection	121
5.6	Page des statistiques des composants	122
5.7	Page des check lists	123
5.8	Plan de maintenance	124

Liste des abréviations

ADD :Arbre De Défaillance
ADe :Arbre Des événements
ALARP :As Low As Reasonably Practicable
AMDECAnalyse des Modes de Défaillance leurs Criticité et leurs Effets
APR : Analyse Préliminaire des Risques
ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BPCS : Basic Process Control Systems
C :Criticité
CCPS : Center for Chemical Process Safety
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
CND : Controle Non Destructif
D : Détection
ED : Elément Dangereux
Ei : Evénement initiateur
ENP : Ecole Nationale Polytechnique
ER : Evénement redouté
FAST : Function Analysis System Technique
Fi : Fréquence de l'événement initiateur
FMECA : Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
G : Gravité
GRI : Gestion des Risques Industriels
HAZOP : HAZard OPerability
HSE : Health Security Environment
ICI : Imperial Chemical Industries
INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques
IPL :Independant Protection Layer
ISO : International Organization of Standarization
LOPA : Layer Of Protection Analysis
OREDA : Offshore and onshore REliability DAta
OWMC : Module d'eau de manoeuvre d'un séparateur
P : Probabilité
p : Pression
PFD : Probability of Failure on Demand
PID : Layer Of Protection Analysis
Q :Débit
REX : Retour d'expérience

RRF : Facteur de Réduction de Risque
S : Système
SADT : Structured Analysis and Design Technique
SIL : Safety Integrity Level
SIF : Safety Integrity Function
SIS : Safety Instrumented System
SS : Sous Système
T : Température
V : Volume

Introduction Générale

L'industrie joue un rôle primordial dans le développement économique, mais elle est également exposée à divers risques qui peuvent avoir des conséquences graves sur la sécurité des travailleurs, l'environnement et les performances économiques. Ainsi, la gestion des risques industriels est devenue une préoccupation majeure dans le secteur industriel pour assurer la continuité et la pérennité des activités industrielles, notamment dans les raffineries d'huile alimentaire.

Ces installations sont complexes où de nombreux processus et équipements sont impliqués. En effet, elles sont soumises à de nombreux risques liés à la manipulation de substances dangereuses, aux processus de production complexes et aux équipements utilisés. Il est donc essentiel de renforcer la gestion des risques industriels dans ce secteur et plus particulièrement la raffinerie de l'huile Cevital, afin de prévenir et de minimiser ces incidents.

Les risques dans l'industrie sont souvent négligés ou sous-estimés, ce qui peut avoir des conséquences graves. Selon la base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents), la France a enregistré au fil des dernières trentaines d'années 1753 événements dans l'industrie agroalimentaire, dont une proportion significative était liée aux incendies et aux explosions (respectivement 890 et 211 cas). Ces chiffres soulignent l'importance de la gestion des risques technologiques majeurs dans ce secteur spécifique. Ils fournissent un argument solide en faveur de la nécessité de prendre des mesures pour maîtriser ces risques dans l'industrie agroalimentaire.

Les risques industriels englobent divers types de dangers, tels que les incendies, les explosions, les fuites de produits chimiques, les défaillances d'équipements, etc. Pour prévenir ces risques et assurer un niveau de sécurité adéquat, il est primordial de mettre en place des barrières de sécurité efficaces. Ces barrières peuvent être physiques (systèmes de confinement, dispositifs de sécurité), organisationnelles (procédures, formations) ou humaines (compétences du personnel).

Cependant, il est crucial d'évaluer régulièrement la fiabilité de ces barrières, leur efficacité et leur conformité aux normes de sécurité, afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur capacité à prévenir les accidents. C'est là qu'intervient la méthode LOPA (Layers of Protection Analysis), qui permet d'évaluer la fiabilité des barrières existantes en identifiant les couches de protection et en quantifiant leur performance.

Parallèlement, la maintenance préventive joue un rôle essentiel dans la gestion des risques industriels. En prévenant les pannes et les défaillances des équipements et des composants, elle contribue à éviter la survenue d'événements redoutés pouvant générer des accidents majeurs. Un plan de maintenance préventive bien élaboré permet d'assurer la disponibilité des équipements, de prolonger leur durée de vie et d'optimiser leur performance.

Dans ce mémoire, nous nous intéresserons spécifiquement à la raffinerie d'huile alimentaire Cevital, où nous chercherons à améliorer la gestion des risques industriels. Notre démarche consistera à appliquer des méthodes d'analyse des risques, à évaluer la fiabilité des barrières de protection par la méthode LOPA, et à élaborer un plan de maintenance préventive adapté à cette raffinerie.

Le mémoire sera structuré en plusieurs chapitres. Le premier chapitre présentera le contexte général de l'étude, une présentation du groupe Cevital, le processus de raffinage ainsi que la problématique à résoudre et la méthodologie à suivre. Quant au second, il abordera la gestion des risques industriels ainsi que les différentes méthodes d'analyse des risques industriels utilisées dans

ce domaine à savoir (APR, HAZOP, AMDEC, ADD, ADE, etc.).

Le troisième chapitre décrira l'application de ces méthodes d'analyse des risques spécifiquement à la raffinerie d'huile alimentaire Cevital. Tandis que le quatrième chapitre se concentrera sur l'évaluation par la méthode LOPA, la fiabilité des barrières de protection identifiées dans le chapitre précédent.

Enfin, le cinquième chapitre détaillera l'élaboration du plan de maintenance préventive pour améliorer la gestion des risques industriels dans cette raffinerie et garantir la continuité des opérations.

En adoptant une approche méthodique et en mettant en œuvre ces différentes étapes, nous espérons contribuer à l'amélioration et au renforcement de gestion des risques industriels ainsi qu'à renforcer la sécurité et la fiabilité des opérations de la raffinerie d'huile alimentaire Cevital.

Chapitre 1

Contexte générale de l'étude et problématique

Ce chapitre commencera par une présentation du groupe Cevital, de l'agro-industrie et de l'unité de raffinage de l'huile brute suivi d'une explication détaillée du process de raffinage de l'huile brute en huile alimentaire. Ensuite, nous aborderons la problématique à laquelle notre projet se consacrera et nous définirons les objectifs que nous visons à atteindre.

1.1 Groupe CEVITAL

1.1.1 Présentation du Groupe CEVITAL

Le Groupe Cevital est un conglomérat algérien de l'industrie agroalimentaire, la grande distribution, l'industrie et les services. Créé par l'entrepreneur Issad Rebrab en 1998, Cevital est le premier groupe privé algérien, présent également à l'international et la troisième entreprise algérienne par le chiffre d'affaires. Il emploie 18 000 salariés. Le groupe Cevital est le leader du secteur agroalimentaire en Afrique [1].

1.1.2 Historique du Groupe

Cevital est un Groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée. Première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle. Industrie agroalimentaire et grande distribution, électronique et électroménager, sidérurgie, industrie du verre plat, construction industrielle, automobile, services, médias.

Le Groupe Cevital s'est construit, au fil des investissements, autour de l'idée forte de constituer un ensemble économique. Porté par 18 000 employés répartis sur 3 continents, il représente le fleuron de l'économie algérienne, et œuvre continuellement dans la création d'emplois et de richesse [1].

CEVITAL est un groupe industriel majeur en Algérie, doté d'une usine entièrement mécanisée et équipée de technologies de pointe.

La mission principale de l'entreprise est d'accroître la production tout en maintenant un niveau de qualité élevé. Elle se concentre sur l'emballage des huiles, margarines et sucre à des prix extrêmement compétitifs, dans le but de satisfaire et de fidéliser sa clientèle.

Les objectifs stratégiques de CEVITAL comprennent :

- Elargir la distribution de ses produits à l'échelle nationale ;
- Importer des graines oléagineuses pour une extraction d'huile brute sur place ;
- Importer des graines oléagineuses pour une extraction d'huile brute sur place ;
- Optimiser sa présence sur le marché de l'emploi ;
- Encourager la production locale de graines oléagineuses ;
- Moderniser ses installations et technologies pour augmenter la capacité de production ;
- Positionner ses produits sur les marchés internationaux par le biais de l'exportation.

1.2 Présentation de l'agro-industrie Cevital

Créée en 1998 et implantée au sein du port de Béjaïa, Cevital Agro-industrie dispose de plusieurs unités de production ultramodernes :

- **2** raffineries de sucre (1600 t/j) et (3000 t/j) ;
- **1** unité de sucre liquide ;
- **1** raffinerie d'huile (1800 t/j).
- **1** margarinerie (600 t/j) ;
- **1** Stockage des céréales (120000 t) ;
- Conditionnement d'huile (1400 t/j) ;
- **1** unité de conditionnement d'eau minérale ;
- **1** unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes ;
- **1** conserverie Stockage des céréales (120000 t) ;
- **1** unité de fabrication de chaux calcinée.

Elle possède également des silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en Méditerranée. Cevital Agro-Industrie conçoit des produits de qualité supérieure à des prix compétitifs, grâce à ses installations performantes, son savoir-faire, son contrôle strict de qualité et son réseau de distribution.

Elle couvre les besoins nationaux et a permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre. Ses produits se vendent dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au Moyen Orient et en Afrique de l'Ouest. Cevital Agro-Industrie est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie et possède le plus grand complexe privé en Algérie. Elle compte parmi ses clients des grands noms du domaine de l'agro-business ; citons : Coca-Cola, Kraft Food, Danone [1].

1.2.1 Situation géographique de l'entreprise CEVITAL

Cevital se situe à l'arrière port de Bejaia à 200 ML (mètre linéaire) du quai à 3 Km Sud Ouest de la ville, à proximité de la RN 26 et la RN 9. Cette situation géographique de l'entreprise lui profite bien étant donné qu'elle lui confère l'avantage de la proximité économique.

Le complexe s'étend sur une superficie de 45 000 m² (le plus grand complexe privé en Algérie), il a une capacité de stockage de 182 000 tonnes/an (silos portuaire), et un terminal de chargement portuaire de 200 000 tonnes/heure (réception de matière première). Elle possède un réseau de distribution de plus de 52 000 points de vente sur tout le territoire national également [2]. La figure 1.1 illustre la situation géographique de l'entreprise Cevital.

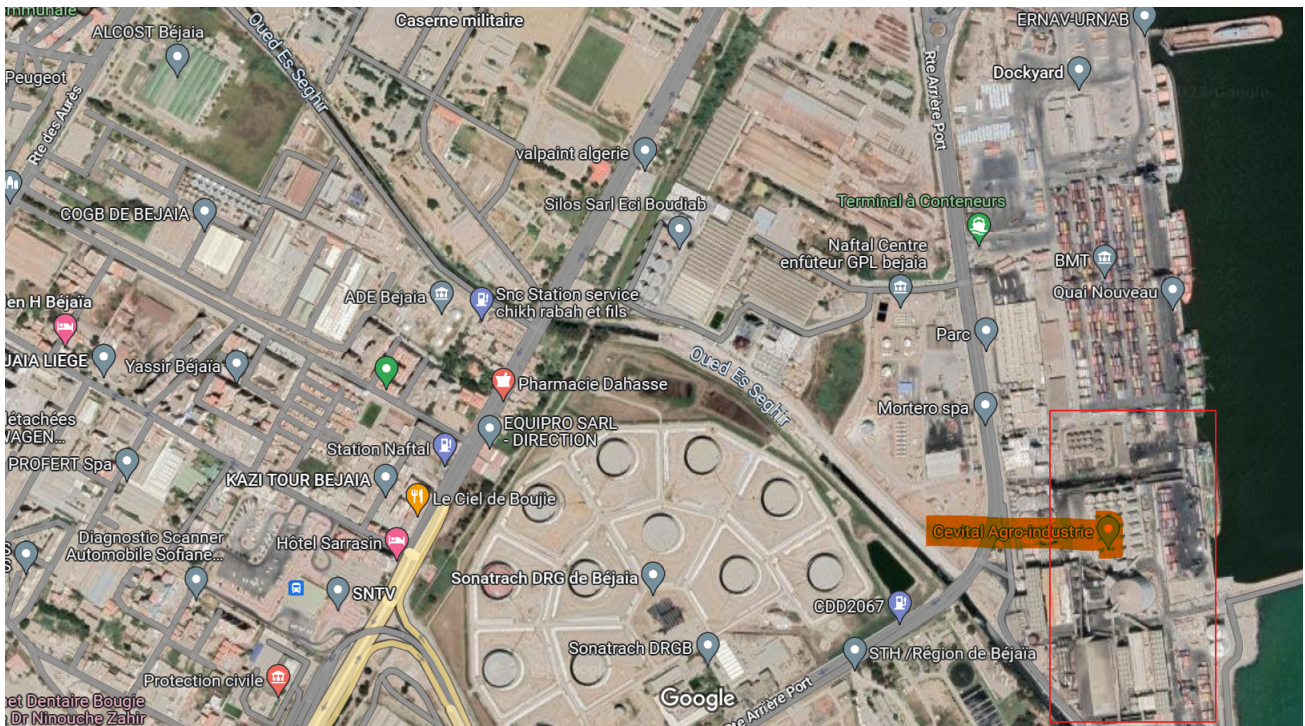


FIGURE 1.1 – Situation géographique de l'entreprise CEVITAL(google earth)

La figure 1.2 nous montre le plan de masse du complexe Cevital.



FIGURE 1.2 – Plan de masse du complexe CEVITAL
[2].

1.2.2 Organisation de l'entreprise CEVITAL

Le complexe compte à son effectif plus de 3600 employés (permanents et contractuels), répartis sur les différentes structures. Son organigramme est présenté dans la figure 1.3 comme suit :

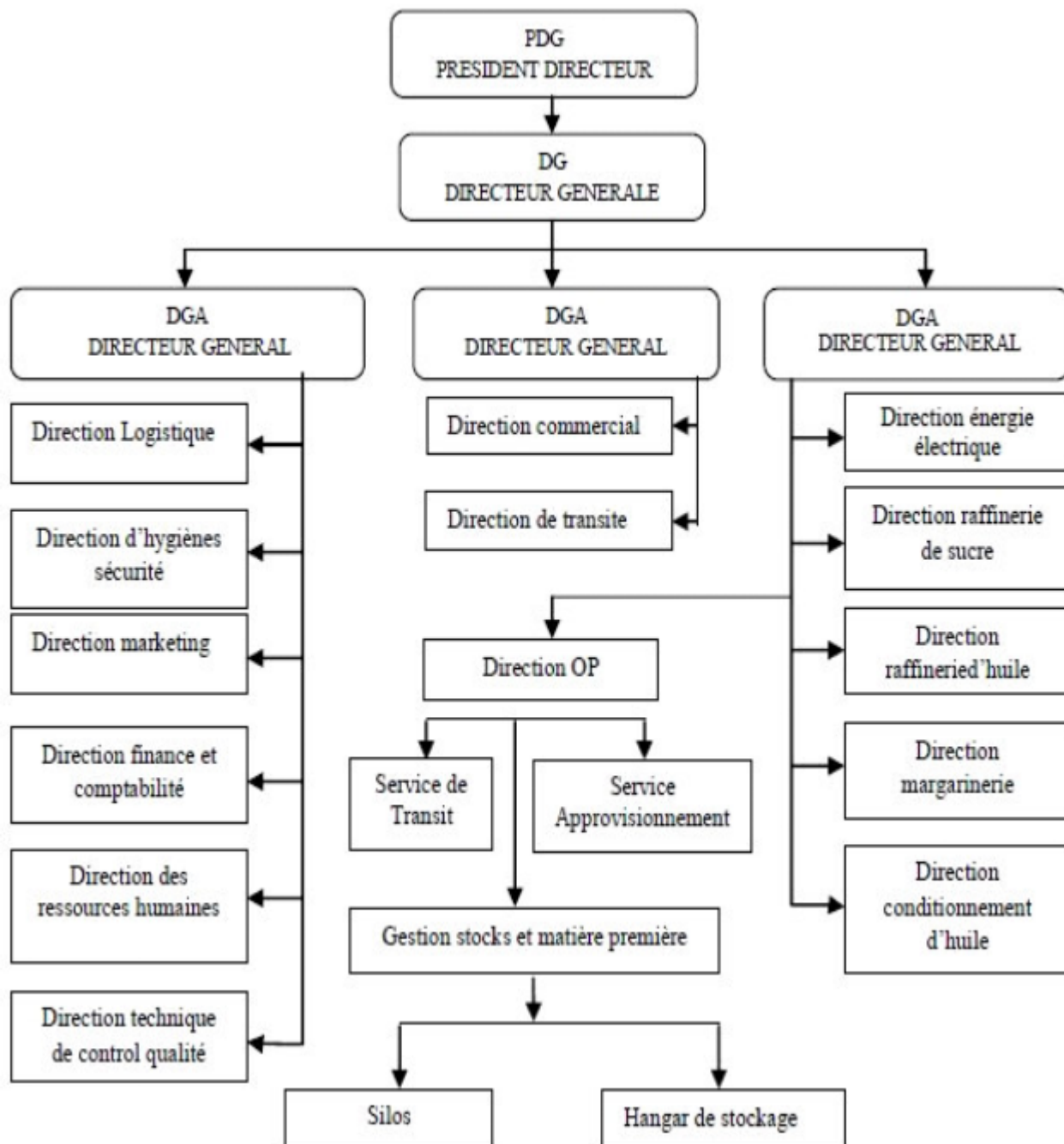


FIGURE 1.3 – Structure de CEVITAL.

[2]

1.3 Présentation de l'unité de raffinage de l'huile brute

Dans cette partie nous allons parler de l'historique de la raffinerie, puis nous présentons l'unité ainsi qu'une description détaillée du process.

1.3.1 Historique de la raffinerie d'huile

La raffinerie a été opérationnelle à partir d'août 1999 et est équipée de technologies de pointe de haut niveau. Sa capacité de production actuelle s'élève à 1800 tonnes par jour. Cette installation de raffinage est conçue pour traiter diverses variétés d'huiles comestibles telles que le colza, le tournesol, le soja, et bien d'autres.

-Huiles produites actuellement

- Marque FLEURIAL (tournesol) ;
- Marque FRIDOR (tournesol, soja, palme) ;
- Marque ELIO (soja, palme).

1.3.2 Présentation de l'unité de raffinage et son rôle

L'unité de Raffinage est dévisée en cinq sous-unités et deux laboratoires, à savoir :

- Sous unités d'approvisionnement

Utilisée pour stockage des huiles brutes, et les produits chimiques (bacs acide citrique ; bacs soude caustique NaOH ; bacs acide phosphorique H₃PO₄) Pour le réapprovisionnement en matière première, CEVITAL s'approvisionne essentiellement en huile brute en fonction du marché demandeur fournisseur, les huiles les plus connues et plus consommées en Algérie sont : l'huile de tournesol, soja, et de colza.

Elles sont importées par bateau avec des quantités de 3000T, 6000T, et 9000T de certains pays producteurs tels que : Ukraine, Malaisie, Argentine. La matière première est acheminée dans des pipes de bateaux vers le complexe, est elle est stockée dans des bacs de 1000T, 9000T. Récemment l'entreprise a mis en service une unité de trituration pour extraction de l'huile brute étant une nouvelle source de ce dernier.

- Sous unité du raffinage

Destinée au matériel du raffinage (équipements du process de raffinage de l'huile figurant dans Annexe 1).

- Sous unité de conditionnement

Lieu de fabrication d'emballage, ainsi que la mise en bouteille de 1L, 2L, 5L, 10L (récemment ajoutée) du produit fini.

- Sous unité de composition de la pâte

Elle est conçue pour le traitement des déchets du raffinage (Soap Stock), afin de récupérer des sous produits (l'huile acide) et d'évaluer les pertes en huile.

- **Sous unité d'épuration des eaux**

Elle a pour but le traitement des eaux de lavage du raffinage avant de les verser dans la nature, ainsi que celles destinées à la chaudière.

- **Laboratoire de la raffinerie**

Elle a pour tâche de suivi permanent du procès du raffinage par des analyses physico-chimiques.

- **Laboratoire du conditionnement**

Il est destiné au contrôle physico-chimique et microbiologique de la matière première (huile brute) à son arrivé au port, des produits finis ainsi que les produits laitiers destinés à la margarine (crème,lait ...) [2].

L'objectif principal du raffinage de l'huile brute est d'éliminer les produits indésirables pour avoir un produit d'un bon niveau de pureté et de stabilité tels :les produits d'oxydation et de décomposition ,les phosphatides ,les métaux ,les résidus d'herbicides et de pesticides; réduire le niveau de couleur ; préserver le contenu en vitamines ;minimiser les pertes en triglycérides ;protéger les triglycérides des dégradations au cours du process et modifier la structure des triglycérides si nécessaires. Ces objectifs sont atteints grace à plusieurs étapes expliquées dans le point suivant.

1.3.3 Description du process

Le process de raffinage de l'huile brute comprend plusieurs étapes essentielles qui permettent de purifier et d'améliorer la qualité de l'huile.Les étapes de chaque procédé sont représentées sur la figure 1.4.

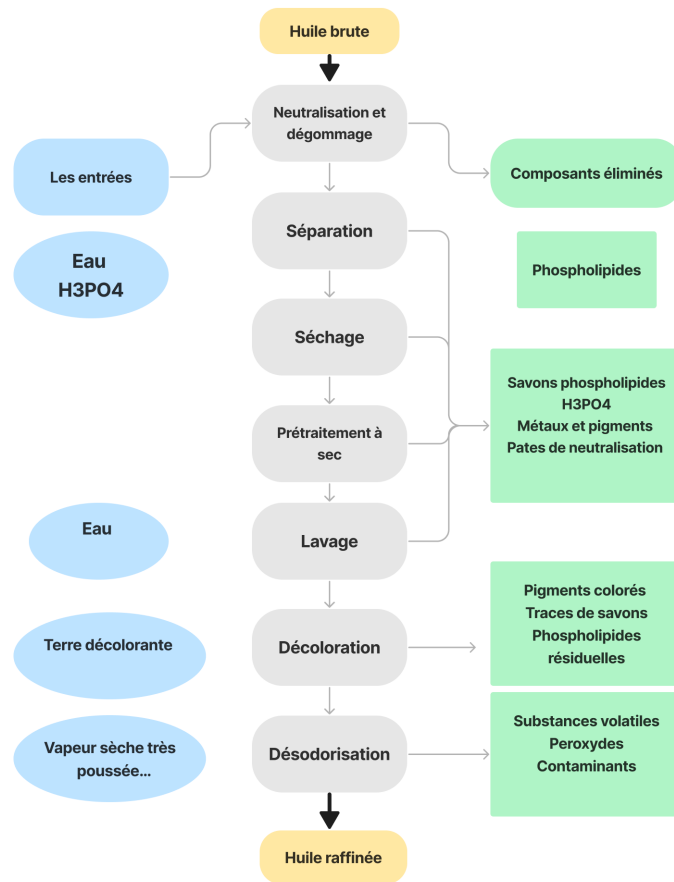
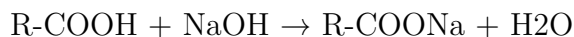


FIGURE 1.4 – Etapes du process.

1.3.3.1 Dégompage et Neutralisation

L'huile brute filtrée avec une bonne agitation et un temps de réaction adéquat est traitée avec de l'acide phosphorique (H_3PO_4), le mélange (huile brute, H_3PO_4) s'effectue à une température de $90^\circ C$, dans le but de provoquer la précipitation des phospholipides avec formation de mucilages (substance présente chez de nombreux végétaux qui gonflent au contact de l'eau donnant une solution visqueuse plus lourde que l'huile). Ensuite, ces mucilages sont éliminés par centrifugation.

L'huile est portée à une température de $90^\circ C$ ensuite neutralisée par de la soude caustique afin d'éliminer les acides gras libres qui lui donnent un mauvais goût et qui nuit à sa conservation. La neutralisation par la soude élimine les acides gras libres en formant des savons insolubles dans l'huile appelés « pâtes de neutralisation » ou « soapstock » qui sont ensuite éliminées par centrifugation. La neutralisation se fait selon la réaction suivante [2].



1.3.3.2 Séparation

Une fois que l'huile a subi l'étape de neutralisation, où les acides gras libres ont été neutralisés et transformés en savons, elle est mélangée avec les soapstocks.

Ce mélange est ensuite introduit dans des centrifugeuses. Les centrifugeuses sont des équipements spécialement conçus pour séparer les substances de différentes densités dans un mélange.

Dans ce cas, la centrifugeuse va appliquer une force centrifuge élevée au mélange, ce qui entraînera la séparation de l'huile et des soapstocks. En raison de leurs densités différentes, l'huile neutralisée, étant moins dense, aura tendance à se séparer et à se collecter dans la partie supérieure de la centrifugeuse, tandis que les soapstocks, étant plus denses, se rassembleront dans la partie inférieure.

1.3.3.3 Lavage

Pour améliorer la qualité de l'huile neutralisée en éliminant les savons restants, L'huile neutralisée subit un double lavage à l'eau chaude qui permet d'éliminer la quasi-totalité des traces des savons résiduels ainsi que d'autres impuretés.

Cette étape consiste à injecter de l'eau chaude dans l'huile neutralisée, à mélanger le mélange résultant, puis à le séparer dans une centrifugeuse. L'eau contenant les savons dissous se retrouve dans la partie inférieure de la centrifugeuse, tandis que l'huile nettoyée se rassemble dans la partie supérieure. La séparation est facilitée par la différence de densité entre l'eau et l'huile.

Lorsque l'opération de séparation est terminée, l'eau contenant les savons est éliminée, tandis que l'huile nettoyée est récupérée pour poursuivre les étapes suivantes du processus de raffinage. En somme, le lavage de l'huile neutralisée avec de l'eau chaude et l'utilisation éventuelle d'acide citrique permettent d'éliminer les savons résiduels et d'améliorer la qualité de l'huile avant de poursuivre le processus de raffinage.

1.3.3.4 Séchage

Après le lavage de l'huile neutralisée, une étape de séchage est effectuée pour éliminer toute humidité résiduelle. Le séchage est réalisé en pulvérisant l'huile dans un bac sous vide, où la pression est maintenue à environ (50 mbar).

Le séchage de l'huile permet d'éliminer efficacement l'humidité résiduelle, ce qui est crucial pour garantir la stabilité et la qualité de l'huile raffinée. L'élimination de l'humidité contribue à prévenir la détérioration de l'huile, la formation de composés indésirables et la prolifération de micro-organismes.

1.3.3.5 Prétraitement à sec

Cette étape vise à préparer l'huile pour la décoloration en injectant de l'acide citrique dans l'huile chauffée préalablement à 90°C. L'action de l'acide citrique est de parfaire le dégomme et d'éliminer les traces de savon résiduelles afin d'éviter le colmatage des filtres et d'éviter la désactivation de la terre décolorante.

1.3.3.6 Décoloration

L'huile est chauffée à 105°C puis mélangée à de la terre décolorante avant de passer dans un réacteur travaillant sous un vide de 50 mbar pour être maintenue sous agitation durant 15 à 20

minutes.

L'étape suivante consiste à séparer l'huile de la terre par filtration à travers des filtres. La décoloration des huiles est obtenue par adsorption des pigments sur une terre décolorante (argile) maintenue en contact avec l'huile de 20 à 30 minutes, sous vide, à 105°C. La terre chargée en pigments est alors séparée de l'huile par filtration. La décoloration permet également l'élimination parfaite des traces de savons [3].

1.3.3.7 Décirage

Ce traitement est destiné à certains types d'huiles riches en cires tels les huiles de tournesol, de maïs, de coton. . . L'élimination des cires s'effectue en 02 étapes : Refroidissement qui provoque la cristallisation des cires puis la séparation pour les éliminer.

1.3.3.8 Désodorisation

La désodorisation est en effet la dernière étape du processus de raffinage de l'huile. Cette étape vise à éliminer les substances odorantes et les acides gras libres résiduels de l'huile raffinée.

Injection de vapeur sèche : L'huile raffinée est placée dans un réacteur désodorisant, de la vapeur d'eau sèche est ensuite injectée dans le réacteur.

La vapeur d'eau sèche agit comme un agent d'entraînement pour éliminer les substances odorantes et les acides gras libres résiduels. Vide et haute température : Le réacteur désodorisant fonctionne sous vide, généralement autour de 3 mbar, ce qui permet de réduire la pression atmosphérique autour de l'huile.

Dans le même temps, la température dans le réacteur est maintenue élevée, généralement entre 220 et 260 °C. Cette combinaison de vide et de haute température favorise l'évaporation des substances volatiles indésirables. Entraînement à la vapeur : Sous l'effet de la vapeur d'eau sèche, les substances odorantes et les acides gras libres résiduels, qui sont plus volatiles que l'huile neutre, s'évaporent. La vapeur entraîne ces substances volatiles hors de l'huile

1.4 Problématique, objectifs et méthodologie

Dans cette section nous allons voir l'accidentologie, on annonce la problématique ainsi que la méthodologie à suivre.

1.4.1 Revue accidentologique

L'industrie agroalimentaire est confrontée à de nombreux défis en matière de sécurité et de gestion des risques industriels vue qu'elle repose sur des procédés complexes et comporte des risques industriels significatifs. Parmi les secteurs clés de cette industrie, la raffinerie d'huile alimentaire.

Les raffineries d'huile alimentaire sont des installations essentielles de ce secteur, mais elles sont exposées à des risques spécifiques liés à leurs procédés de fabrication et aux produits chimiques utilisés. La gestion efficace de ces risques est cruciale pour garantir la sécurité des travailleurs, la

qualité des produits et la protection de l'environnement.

Les accidents industriels dans les raffineries d'huile alimentaire peuvent avoir des conséquences graves, allant des blessures aux travailleurs à la contamination des produits, en passant par les incidents environnementaux.

Selon un rapport de l'OIT de 2017, les accidents du travail coûtent environ 3,94 % du PIB mondial chaque année[4].

En France, selon un rapport de 2019 :

L'industrie agroalimentaire était responsable de 10 % des accidents industriels, ce qui en faisait le deuxième secteur le plus touché après l'industrie chimique. Les principaux accidents dans l'industrie agroalimentaire étaient dus à des contacts avec des objets en mouvement, des chutes de hauteur, des incendies/explosions, et des expositions à des substances dangereuses. Les principales causes de ces accidents étaient les défaillances organisationnelles et les erreurs humaines.

Selon la base de données ARIA, au fil des dernières trentaines d'années la répartition des phénomènes dangereux dans l'industrie agroalimentaire comme le montre la figure 1.5 [5].

- 32% des accidents sont dus à des incendies ;
- 70% des accidents sont dus à des rejets de matières dangereuses ;
- Le reste des accidents sont dus à des explosions.

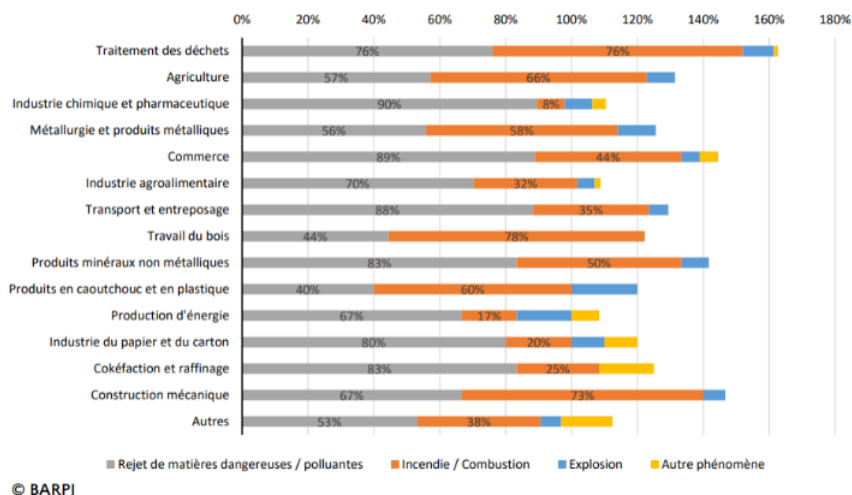


FIGURE 1.5 – Phénomènes dangereux liés aux accidents par secteurs d'activité [5]

-Problématique

La raffinerie de l'huile alimentaire de Cevital revêt une importance capitale et un engagement continu à l'amélioration de sa gestion des risques industriels, compte tenu des dangers inhérents à ses activités et de la nécessité de garantir la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et la qualité des produits. Il est crucial d'améliorer cette gestion pour mettre en avant les dangers existants dans le but de les maîtriser et d'évaluer la fiabilité des barrières de protection

existantes dans cette raffinerie.

Cette problématique met en évidence l'importance critique de l'amélioration et renforcement de la gestion des risques industriels dans la raffineries d'huile alimentaire de Cevital, vue l'ancienneté du groupe Cevital qui a débuté ses activités en 1998 et le nombre de pannes enregistré dans ce secteur.

Le travail envisagé traitera cette problématique en explorant et en répondant aux interrogations suivantes : Quels sont les systèmes dangereux présents dans la raffinerie de l'huile Alimentaire Cevital? Les mesures de prévention, actions de maîtrise et barrières de protection au sein de cette raffinerie sont-elles fiables et suffisantes? l'élaboration d'un plan de maintenance préventive va t'il prévenir les défaillances des équipements de l'unité et améliorer la gestion des risques industriels dans la raffinerie d'huile alimentaire de Cevital?

1.4.2 Objectifs du travail

L'objectif général de notre travail est donc l'établissement d'une démarche adéquate de Gestion des Risques pour une meilleure maîtrise de ces derniers avec une proposition de solutions techniques. Pour répondre à notre problématique, nous nous sommes fixés un certain nombre d'objectifs, à savoir :

- Identifier les systèmes critiques dans la raffinerie d'huile alimentaire qui présentent des risques potentiels d'accidents ou d'incendies.
- Réaliser une analyse préliminaire des risques (APR) pour évaluer et prioriser les dangers associés à ces systèmes critiques.
- Effectuer une étude HAZOP pour identifier les scénarios possibles suite aux événements redoutés liés à ces systèmes critiques.
- Réaliser une analyse AMDEC pour évaluer la criticité des effets potentielles dans ces systèmes critiques.
- Evaluer l'efficacité et la fiabilité des de sécurité existantes par la méthode LOPA.
- Proposer des mesures correctives et de maîtrises pour réduire les risques identifiés et améliorer la sécurité des opérations.
- Développer un plan de maintenance préventive pour les équipements critiques.

1.4.3 Méthodologie

La méthodologie proposée pour atteindre ces objectifs comprend les étapes suivantes :

- Collecte des données sur la raffinerie d'huile alimentaire, y compris les procédés, les équipements (en utilisant la méthode SADT) et les produits chimiques utilisés ;
- Réalisation d'une analyse préliminaire des risques en identifiant les systèmes critiques susceptibles de causer des accidents ou des incendies ;
- Mise en œuvre d'une étude Hazop pour examiner en détail les systèmes critiques et identifier les scénarios possibles et les événements redoutés ;

- Réalisation d'une analyse AMDEC pour évaluer la criticité des défaillances potentielles dans les systèmes critiques ;
- Estimation des probabilités de défaillance des événements redoutés et leurs effets en utilisant les ADD ;
- Proposition de mesures correctives et préventives pour réduire les risques identifiés, en utilisant les résultats de l'étude HAZOP et de l'analyse AMDEC ;
- Élaboration d'un plan de maintenance préventive pour les équipements critiques, en tenant compte des défaillances potentielles identifiées.

En utilisant cette approche méthodologique, il sera possible d'identifier les systèmes critiques, d'évaluer les risques associés et de proposer des mesures appropriées pour améliorer la gestion des risques industriels dans la raffinerie d'huile alimentaire de ce vital. Cela permettra de renforcer la sécurité des opérations, de réduire les risques d'incidents et d'optimiser la maintenance des équipements critiques.

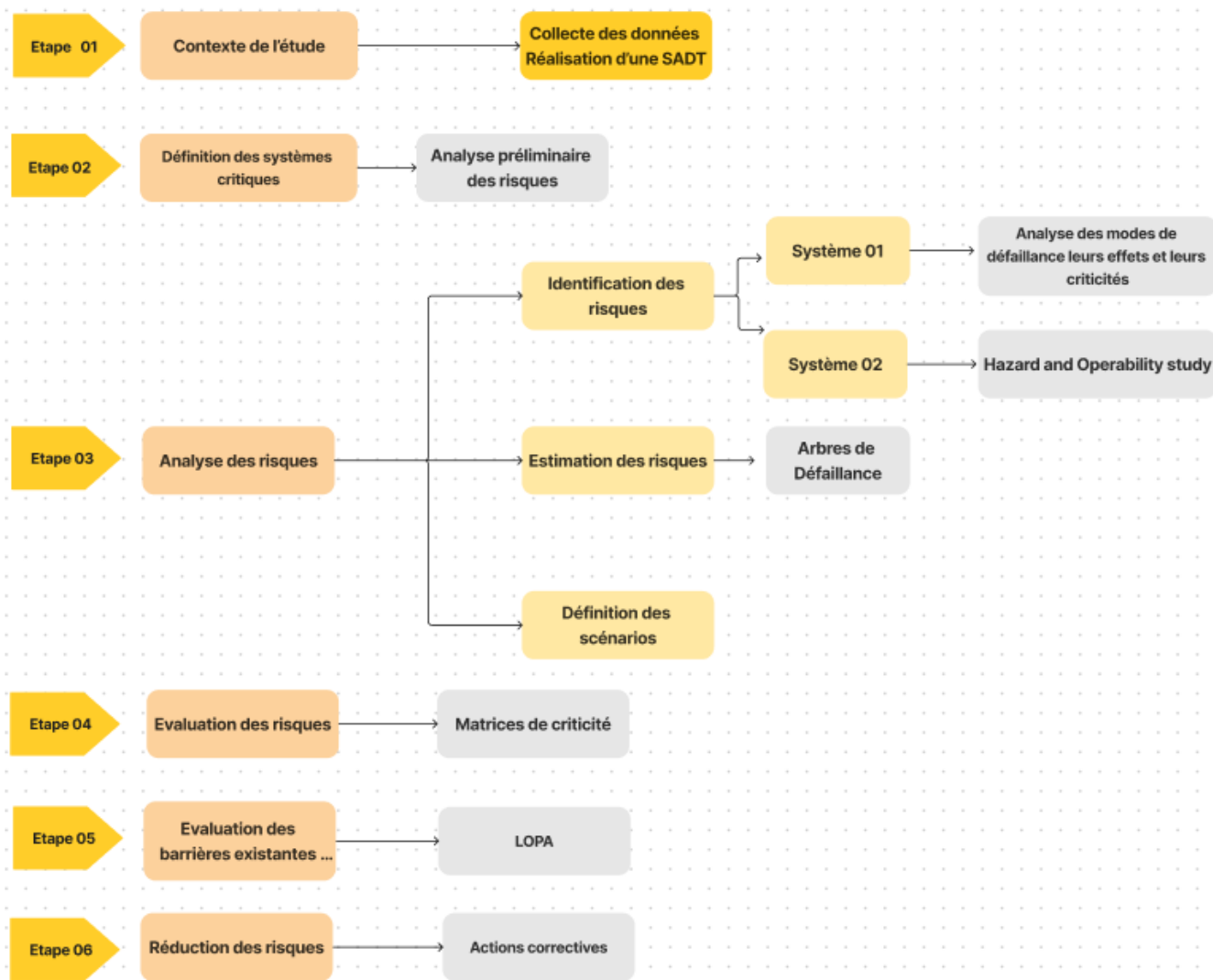


FIGURE 1.6 – Démarche méthodologique

Lors de ce premier chapitre, il a été question d'introduire tous les concepts utilisés lors de notre projet de fin d'études. Ces derniers serviront à comprendre les éléments traités dans le chapitre suivant, à comprendre la problématique pour ensuite suivre l'enchaînement de sa solution. Une méthodologie proposée pour gérer les risques au sein de l'unité de raffinage de l'huile de Cevital.

Dans le prochain chapitre nous aborderons la gestion des risques dans sa globalité et les outils de cette dernière.

Chapitre 2

Gestion et Méthodes d'Analyse des Risques Industriels

La gestion des risques industriels est cruciale pour les entreprises opérant dans des secteurs à haut risque tels que l'industrie chimique, pétrolière, nucléaire, minière et de la construction. Elle vise à anticiper les accidents et incidents en mettant en place des mesures préventives et correctives.

Cette approche systématique et multidisciplinaire comprend l'analyse des processus, des installations, des équipements, des facteurs humains et environnementaux. Elle repose sur des normes, réglementations et bonnes pratiques pour assurer la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et la continuité des activités. La collaboration avec les autorités, les parties prenantes et la sensibilisation des employés sont également essentielles.

Dans ce chapitre, nous explorerons les principes fondamentaux de la gestion des risques industriels, les outils et les méthodologies utilisés, ainsi que les avantages qu'elle offre aux entreprises en termes de sécurité, de conformité réglementaire et de préservation de leur réputation.

2.1 Gestion des risques industriels (GRI)

Dans cette section, nous allons tout d'abord donner une définition de la gestion des risques industriels puis nous présentons la démarche de cette gestion.

2.1.1 Définitions

Dans cette section nous allons aborder quelques définitions sur les éléments clés de la gestion des risques industriels.

- **Danger** : une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux biens (détérioration ou destruction), à l'environnement, ou aux personnes [6].

Une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments [7].

Une propriété intrinsèque inhérente à un type d'entité ou un type d'évènement qui a la potentialité de provoquer un dommage [8].

- **Risque Industriel** : est une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences [9].

C'est la combinaison de la probabilité et de /des conséquence(s) de la survenue [7].

En termes simplifiés, le risque peut être perçu comme le produit de deux éléments : la fréquence d'apparition d'un événement dangereux et la sévérité des conséquences qui en découlent. On peut donc représenter le risque (R) par l'équation suivante :

$$\text{Risque (R)} = \text{Probabilité (P)} \text{ Gravité (G)}$$

- **Gestion des risques industriels (GRI)** : la gestion des risques industriels fait référence à l'ensemble des méthodes, procédures et pratiques utilisées pour identifier, évaluer et gérer les risques potentiels dans un environnement industriel. Son objectif est de prévenir les accidents, de protéger la santé et la sécurité des travailleurs, et de minimiser les impacts négatifs sur

l'environnement. La gestion des risques industriels vise à assurer la continuité des activités industrielles tout en garantissant la maîtrise des risques inhérents aux opérations industrielles.

2.1.2 Démarche de la gestion des risques industriels

Selon l'ISO 31000 la démarche de gestion des risques industriels est un processus systématique qui comprend plusieurs étapes clés comme le montre la figure 2.1 [10] .

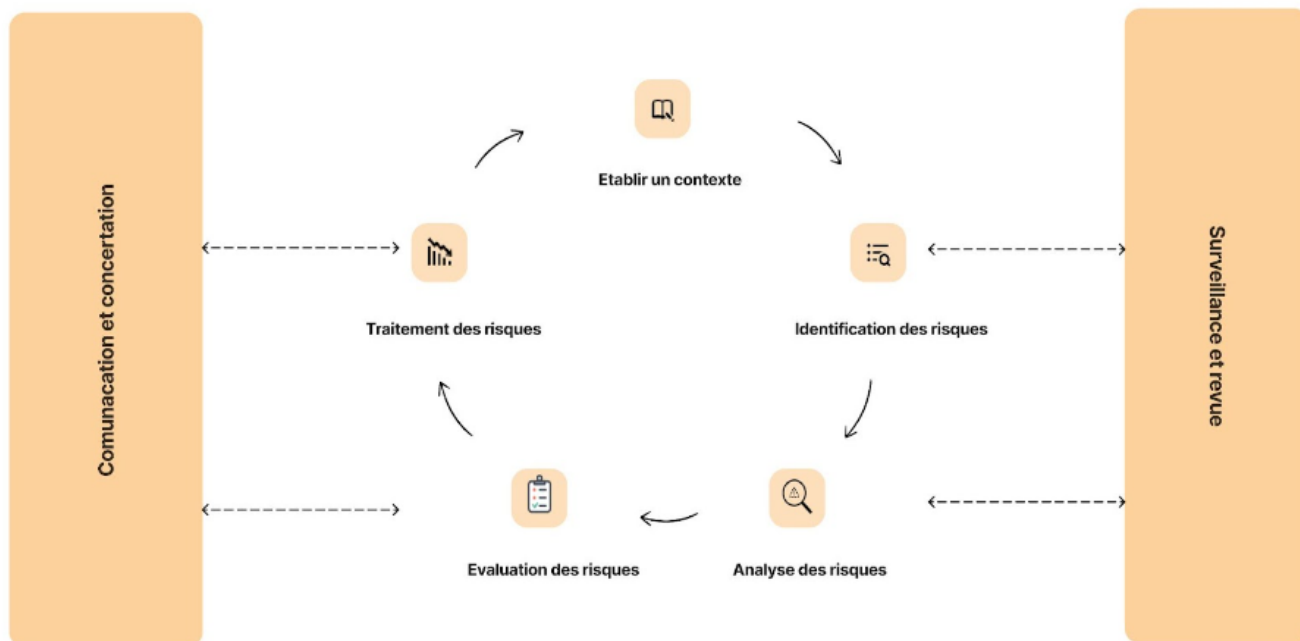


FIGURE 2.1 – Etapes clés de gestion des risques industriels

Les étapes clés :

2.1.2.1 Identification des risques

Cette phase consiste à identifier les risques, leurs causes et leurs conséquences potentielles. L'objectif est de compiler une liste complète des risques liés à des événements qui pourraient influencer l'atteinte des objectifs. Il est crucial de reconnaître les risques liés à la non-exploitation d'une opportunité.

2.1.2.2 Analyse des Risques

L'analyse des risques est un élément clé dans la gestion des risques, fournissant des informations essentielles pour évaluer et décider de traiter ou non les risques. Elle guide également le choix des stratégies et méthodes de traitement les plus adaptées.

2.1.2.3 Évaluation des risques

Après l'évaluation du risque, celui-ci est juxtaposé aux critères d'acceptabilité établis par l'organisation. Cette confrontation permet de déterminer si le risque est tolérable ou non, c'est-à-dire s'il peut être assumé en l'état ou s'il requiert une atténuation par l'application de mesures de contrôle supplémentaires.

2.1.2.4 Traitement des risques

Cette phase implique la mise en place de diverses mesures de prévention et de protection pour atténuer l'intensité du phénomène dangereux et réduire la probabilité d'occurrence d'accidents.

Cela peut inclure l'amélioration technique et la fiabilité des équipements, ainsi que la prise en compte des facteurs de risque organisationnels et humains. Les actions préventives sont choisies en comparant les coûts de mise en œuvre aux coûts des conséquences du risque, en tenant compte de leur probabilité d'occurrence.

Les étapes supports :

2.1.2.5 Communication et concertation

La communication et la collaboration avec les parties prenantes, internes et externes, sont essentielles à toutes les étapes de la gestion des risques.

2.1.2.6 Surveillance et revue

Les procédures de surveillance et de révision sont appliquées à tous les aspects de la gestion des risques afin de garantir que les mesures de contrôle sont efficaces et performantes, tant dans leur conception que dans leur utilisation. Ces procédures permettent également de recueillir des informations supplémentaires pour affiner l'évaluation des risques, ainsi que d'analyser et de tirer des enseignements des événements, qu'il s'agisse d'incidents, de changements, de tendances, de succès ou d'échecs.

2.2 Les Méthodes d'Analyse des Risques

Dans la gestion des risques, il est essentiel de disposer d'outils et de méthodes d'analyse spécifiques permettant d'identifier, d'évaluer et de gérer les risques industriels de manière efficace. Ces outils et méthodes fournissent une approche structurée pour comprendre les dangers potentiels, estimer leur probabilité de survenance et évaluer les impacts associés.

Dans cette section, nous explorerons les principaux outils et méthodes d'analyse des risques industriels utilisés dans la gestion des risques. Nous examinerons en détail leur fonctionnement, leurs avantages et leurs limites, afin de mieux comprendre comment ils peuvent être appliqués pour identifier et évaluer les risques spécifiques aux industries à haut risque. Les méthodes d'analyse des risques (APR, AMDEC, HAZOP, AdD, Ade et LOPA) peuvent être classées en deux catégories distinctes, comme illustré dans la figure 2.2.

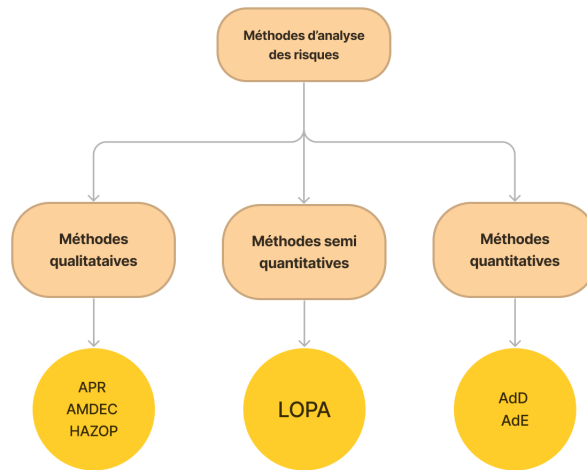


FIGURE 2.2 – Types de méthodes d’analyse des risques

Méthodes qualitatives

2.2.1 Analyse Préliminaire des Risques

L’APR (Analyse Préliminaire des Risques) est une méthode d’évaluation des risques utilisée dans le domaine de la gestion des risques.

Selon la norme ISO 31000 sur la gestion des risques, l’APR est définie comme une évaluation initiale des risques afin de déterminer les risques les plus importants et les plus urgents qui nécessitent une attention immédiate [10].

Selon la norme CEI-300-3-9 : L’APR est une technique d’identification et d’analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité [11].

2.2.1.1 Domaine d’application

L’APR est applicable à tout type d’installation et comme son nom l’indique, c’est une méthode généralement utilisée afin d’identifier les risques au stade préliminaire de la conception d’une installation ou d’un projet. Cette méthode est aussi appliquée dans le cadre des études de danger car elle ne nécessite pas une connaissance approfondie de l’installation étudiée [12].

Cette méthode est pertinente dans les situations suivantes :

- Lors de la phase de conception d’une installation complexe.
- Pendant la phase d’exploitation d’une installation complexe.
- Lors de la phase de conception ou d’exploitation d’une installation simple.

2.2.1.2 Déroulement

L’APR se déroule selon les étapes suivantes :

- Étape 1 : Décomposition fonctionnelle de chaque système

La première étape de l’Analyse Préliminaire des Risques (APR) est la décomposition fonctionnelle du système. Elle vise à identifier les différentes parties ou composants du système,

ainsi que les interactions et les relations entre eux. Une fois la décomposition réalisée, il devient plus facile d'analyser les risques potentiels associés à chaque fonction du système.

- **Étape 2 : Énumération des éléments dangereux.**

À partir de la décomposition du système, nous procédons à l'identification des éléments dangereux qui représentent un risque pour son bon fonctionnement.

Ces éléments peuvent inclure des équipements spécifiques ou des produits associés au sous-système concerné. L'objectif est d'identifier de manière précise les sources de danger afin de mettre en place les mesures appropriées pour garantir la sécurité du système dans son ensemble.

- **Étape 3 : Détermination des événements redoutés.**

L'objectif principal de cette étape est d'anticiper les événements qui pourraient entraîner des conséquences négatives sur le système, les personnes, l'environnement ou d'autres éléments d'intérêt.

La détermination des événements redoutés repose sur une évaluation systématique des risques potentiels, en prenant en compte les connaissances des experts, les retours d'expérience passés, les normes et réglementations applicables, ainsi que les spécifications du système lui-même.

- **Étape 4 : Détermination des causes et conséquences.**

L'énumération des causes potentielles qui peuvent directement provoquer une situation dangereuse et un événement non souhaité est une étape essentielle pour mettre en évidence les conséquences découlant de la survenue d'un tel événement.

Cette identification permet de mieux comprendre les facteurs responsables de la situation dangereuse, ce qui facilite l'élaboration de mesures préventives et d'actions correctives pour atténuer les risques associés. En identifiant clairement les causes, il devient possible de prendre des mesures spécifiques pour réduire leur probabilité d'apparition et minimiser les effets indésirables liés à ces événements non souhaités.

- **Étape 5 : Évaluation du risque par calcul de la criticité (C).**

Lors de cette étape, la probabilité d'occurrence (P) d'un événement indésirable et la gravité de ses conséquences (G) sont attribuées en utilisant des échelles de cotation préalablement validées par l'équipe.

Cela se fait sans tenir compte des barrières de sécurité existantes. Ensuite, la criticité (C) est calculée à l'aide d'une grille spécifique, permettant de déterminer dans quelle mesure le risque est positionné (acceptable, tolérable, inacceptable).

- **Étape 6 : Ré-évaluation du risque par calcul de la criticité (C').**

La réévaluation du risque intervient après la mise en place de mesures de prévention et de protection appropriées et conformes, qui permettent de réduire la gravité et la probabilité

initiales d'un événement indésirable à un niveau acceptable ou tolérable.

Cette réévaluation nous assure du niveau de confiance des barrières de sécurité, en tenant compte également de leur indépendance, de leur capacité de mise en œuvre et de leur efficacité de réponse en temps voulu.

- **Étape 7 :Recommandations.**

Proposition donnée sous forme de mesures sécuritaires pour améliorer la maîtrise des risques. En dernier, si tous les enchaînements ont été étudiés, le choix d'un nouvel ED pour le même sous-système s'impose, sinon lorsque tous les ED appropriés au sous-système ont été examinés, il faut procéder au choix d'un nouveau sous-système ou d'un système.

- **Étape 8 :Classification des risques**

Les risques identifiés sont classés sur une grille de criticité afin de les positionner dans leur niveau approprié. Cette classification permet de mettre en évidence les risques considérés comme inacceptables ou critiques, nécessitant ainsi des approches spécifiques pour y faire face.

Cette méthode se résume dans la table 2.1 suivant :

TABLE 2.1 – Déploiement de l'APR

Sous-système	Élément dangereux	Événement redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesures préventives	Mesures correctives	P'	G'	C'

2.2.2 Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)

Dans cette section, nous allons explorer en détail la méthode AMDEC. Nous commencerons par définir ce qu'est l'AMDEC, puis nous retracerons son historique pour comprendre comment elle a évolué au fil du temps.

Ensuite, nous décrirons le processus de mise en œuvre de l'AMDEC, en expliquant chaque étape de son déroulement. Cette approche nous permettra d'appréhender pleinement cette méthode d'analyse de risques et de fiabilité, largement utilisée dans divers secteurs industriels.

2.2.2.1 Définition de l'AMDEC : AFNOR (Norme X-510)

L'AMDEC est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances et les conséquences affectant le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée [13].

2.2.2.2 Historique des domaines d'application de l'AMDEC

Années 1950 : la méthode FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est introduite aux États-Unis dans le domaine des armes nucléaires.

Années 1960 : cette méthode est mise en application en France sous le nom d'AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautiques.

Années 1970 : son application est étendue aux domaines du nucléaire civil, des transports terrestres et des grands travaux.

Années 1980 : l'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de biens d'équipement de production [12].

2.2.2.3 Types d'AMDEC

Globalement, on peut distinguer trois types d'AMDEC en fonction du système analysé :

- Le produit fabriqué par l'entreprise ;
- Le processus de fabrication du produit de l'entreprise ;
- Le moyen de production intervenant dans la production [12].

2.2.2.4 Déroulement

De manière très schématique, une AMDEC se déroule sous la forme illustré dans la figure 2.3.

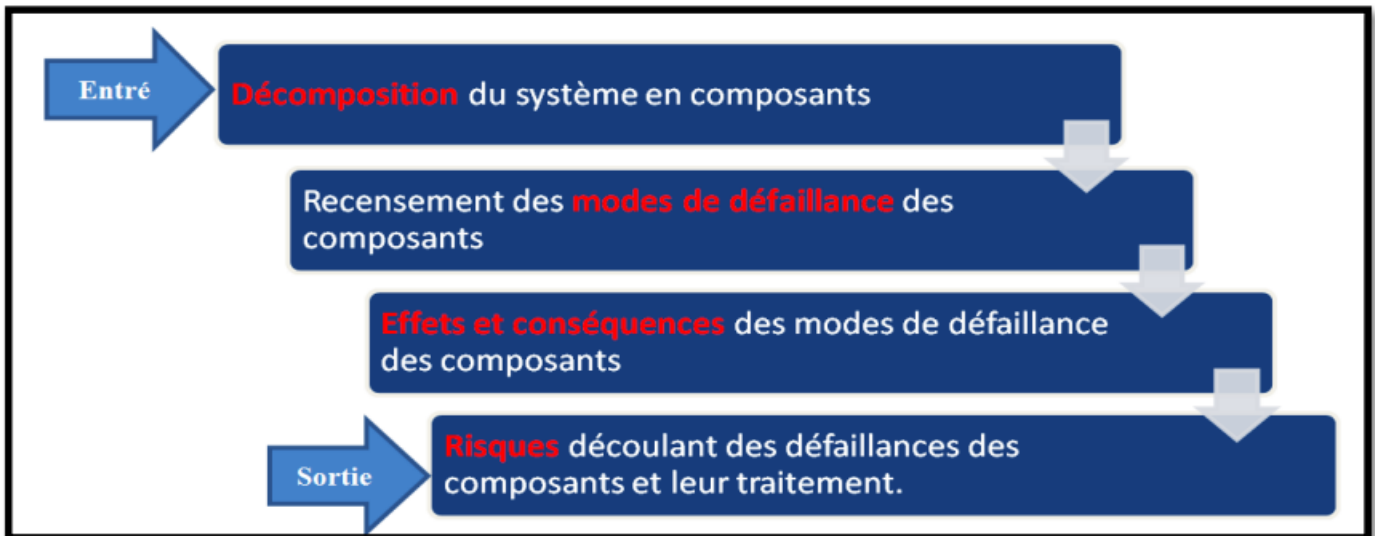


FIGURE 2.3 – Principe de l'AMDEC
[14]

- **Étape 1 : Décomposition fonctionnelle du système**

Sélectionner les éléments ou composants spécifiques du système identifiés lors de la décomposition fonctionnelle. Dans notre cas, nous nous concentrons sur les équipements qui ont été identifiés comme étant susceptibles de causer des phénomènes dangereux mentionnés dans l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

- **Étape 2 : Description des fonctions**

Une description précise de la fonction du composant sélectionné permet de situer son emplacement dans le système et ses liens directs avec les équipements associés, facilitant ainsi la compréhension de son impact et de son rôle dans l'ensemble du système.

- **Étape 3 : Recensement des modes de défaillance**

Sélectionner un mode de défaillance potentiel qui peut se produire dans le composant spécifié en se basant sur le retour d'expérience (REX) et les connaissances des experts, les tableaux suivants présentent des exemples de modes de défaillance.

TABLE 2.2 – Modes de défaillance généraux (extrait du tableau II de la norme CEI 60812 :1985)

N°	Modes de défaillance
1	Fonctionnement prématuré
2	Ne fonctionne pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

TABLE 2.3 – Modes de défaillances génériques

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

- **Étape 4 : Détermination des causes et des effets de la défaillance**

Pour chaque mode de défaillance identifié, identifier les causes ainsi que les conséquences à la fois sur l'environnement du composant et sur l'ensemble du système.

- **Étape 5 : Estimation du risque**

Cette étape implique l'évaluation de la criticité des risques. Elle consiste à associer à chaque mode de défaillance sa probabilité d'occurrence (P), la gravité de ses conséquences (G) et la capacité de détection de la défaillance (D). En utilisant ces valeurs, il est possible de calculer la criticité (C) du risque à l'aide de la formule suivante :

$$C = G \times P \times D \quad (2.1)$$

- **Étape 6 :**

Identification des mesures de détection existantes.

Cette méthode se résume dans le table 2.4.

TABLE 2.4 – Déploiement de l’AMDEC

Sous système	Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	P	G	D	C	Actions correctives

2.2.2.5 Limites et Avantages

L’AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est un outil efficace pour l’analyse des défaillances élémentaires menant à un dysfonctionnement total d’un système.

En étudiant chaque mode de défaillance, ses causes et effets, elle identifie les modes communs de défaillance pouvant affecter plusieurs composants simultanément.

Cependant, pour les systèmes très complexes avec de nombreux composants et états de fonctionnement, l’AMDEC peut être fastidieuse et peut nécessiter d’être complétée par des méthodes dédiées à l’analyse de défaillances multiples.

2.2.3 Étude des dangers et des opérabilités Hazard Operability (HAZOP)

2.2.3.1 Historique et Domaine d’application

La méthode HAZOP, pour HAZard OPerability, a été développée en Grande Bretagne par la société Imperial Chemical Industries(ICI) en 1965 pour répondre à un besoin d’amélioration de la sécurité et des process.

L’étude HAZOP est devenue une pratique et une technique d’identification des dangers et des problèmes d’exploitabilité, elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d’origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts.

Elle Évalue toutes les parties d’un système afin de déterminer comment les déviations par rapport à la conception originale sont susceptibles de survenir et les problèmes qu’elles peuvent entraîner

Adoptée par de nombreuses industries « à risques », en particulier, l’industrie pétrolière caractérisée par des dangers similaires à ceux de l’industrie chimique ou pétrochimique, mais aussi dans les industries où les dangers sont d’une autre nature, comme ceux rencontrés dans le nucléaire, l’alimentaire et les transports.

HAZOP étant une approche inductive d’analyse des risques, elle s’est développée pour s’adapter à différents secteurs, il s’agit d’un processus créatif qui est basé sur l’utilisation de mots-guides (principales et secondaires) pour réaliser une recherche systématique des déviations [15].

Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de conception et précisément au début de phase de réalisation des système industriels puisqu’elle s’appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (Piping and Instrumentation Diagramme) du système étudié [16].

2.2.3.2 Principe de la méthode

La méthode HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit, écoulement, ... etc.

Le principe de l'HAZOP est d'associer des mots-clés et des paramétrés relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler des dérives.

Elle ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur le fonctionnement du procédé, à la différence de l'AMDE qui est centrée sur le fonctionnement des composants de l'installation [17] .

2.2.3.3 Mots-clés ou mots guides

Parallèlement, la méthode introduit un nombre limité (sept à l'origine) de mots-clés appelés aussi « mots guides » et définis originellement ainsi [16] : « ...simple mot ou courte phrase qualifiant l'intention en vue de guider et de stimuler le processus créatif et ainsi de permettre la découverte de déviations... ».

Liste des sept mots-clés (keywords) :

- a- Non ou pas de (keywords);
- b- Plus de (more);
- c- Moins de (less);
- d- En plus(more).
- e- En partie (part of);
- f-Autre que (other than);
- c- Inverse (reverse);

Depuis,se sont ajoutés quatre mots clés relatifs aux notions de temps et de séquence :

- a- Plus tot que (earlier than));
- b- Plus tard que (later than));
- c- Avant (before);
- d- Après (later).

Soit un total aujourd'hui de onze mots clés.La recherche d'autres mots clés est ouverte à l'imagination.Le tableau 2.5 donne quelques significations de quelques mots guides :[18]

TABLE 2.5 – Signification des mots guides

Mot guide	Signification
Pas de	Négation totale
Plus de ,trop de	Augmentation quantitative d'une quantité ou d'un paramètre du procédé
Moins de ,pas assez de	Diminution quantitative d'une quantité ou d'un paramètre du procédé
Inverse	Opposé logique de l'objectif de procédé
Plus long	La durée d'une opération du procédé est plus longue
Plus courte	La durée d'une opération du procédé est plus courte
Plus tôt	Une opération du procédé se produit avant le moment prévu
Plus tard	Une opération du procédé se produit après le moment prévu

2.2.3.4 Paramètres de fonctionnement

Les paramètres de fonctionnement, pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation, doivent être sélectionnés. De manière fréquente, les paramétrés sur lesquels porte l'analyse, sont [19] :

- a- La température ;
- b- La pression ;
- c- Le débit ;
- c- Le niveau ;
- e- La concentration ;
- f-La viscosité ;
- g- Le temps.

Les opération à réalise :

- a- La quantité ;
- b- L'absorption ;
- c- La composition.

2.2.2.5 Déroulement de l'HAZOP

- **Étape 1 : Comprendre le système étudié**
 - Identifier les différents éléments du système, en réalisant une analyse fonctionnelle.
 - Pour chaque élément ou équipement, lister les paramètres d'exploitation tels que la température, la pression, le débit, la concentration, les opérations à effectuer, le temps, etc
- **Étape 2 : Sélectionner un paramètre de fonctionnement**

Choisir les paramètres ayant une incidence sur la sécurité. L'analyse doit être répétée pour chaque paramètre sélectionné.
- **Étape 3 : Appliquer un mot-clé guide et générer une déviation de fonctionnement**

Utiliser des mots-clés tels que "trop", "moins", "plus", "pas ou plus du tout", "inverse", "autre que", "pas au bon moment", etc.
- **Étape 4 : Vérifier la faisabilité de la déviation**

Si la déviation est possible, poursuivre la démarche. Sinon, revenir à l'étape 3.
- **Étape 5 : Identifier les causes et les conséquences de la déviation**
- **Étape 6 : Identifier les moyens de détection et de correction existants**

Évaluer la dangerosité créée par la déviation et examiner les moyens de sécurité existants pour détecter la déviation et en limiter les effets. Cela permet d'estimer le niveau de risque résiduel.
- **Étape 7 : Proposer des actions correctives ou d'amélioration**
- **Étape 8 : Vérifier l'utilisation de tous les mots-clés pertinents**

Lorsque tous les mots-clés ont été utilisés pour le paramètre retenu, revenir à l'étape 2. Sinon, revenir à l'étape 3.
- **Étape 9 : Analyser un nouvel équipement ou élément du système**

Ces étapes permettent d'effectuer une analyse approfondie des risques en identifiant les déviations potentielles, leurs causes et conséquences, ainsi que les moyens de détection et de correction existants. Des actions correctives ou d'amélioration sont proposées pour réduire les risques identifiés.

Méthodes quantitatives

2.2.4 Arbres de Défaillance

L'arbre de défaillance est défini de la manière suivante par la norme internationale CEI 61025 qui lui est consacrée : diagramme logique montrant les pannes des sous-entités, les événements externes ou leurs combinaisons, à l'origine d'un événement prédéfini non souhaité [20].

2.2.4.1 Déroulement de l'ADD

La construction d'un arbre de défaillance suit généralement les étapes suivantes :

- Identification des événements de base : Il s'agit d'identifier les événements élémentaires qui peuvent contribuer à une défaillance.
- Définition des portes logiques : Les portes logiques (ET, OU, NON) sont utilisées pour décrire les relations entre les événements.
- Assemblage de l'arbre : Les événements de base et les portes logiques sont assemblés pour construire l'arbre de défaillance complet.

La figure 2.3 présente les structures de base utilisées pour représenter un ADD :

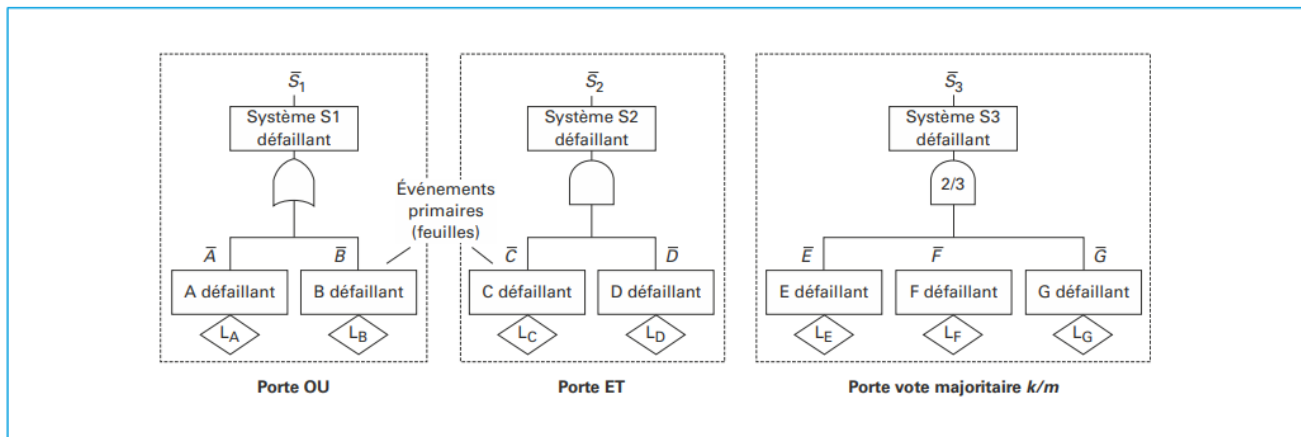


FIGURE 2.4 – Principales portes logiques graphiques relatives aux ADD [21]

2.2.4.2 Analyse et évaluation

Après construction de l'arbre de défaillance, celui-ci est étudié pour déceler les scénarios cruciaux pouvant entraîner des défaillances majeures. Des probabilités d'occurrence sont alors évaluées et assignées aux événements pour juger la criticité des différentes branches de l'arbre.

La détermination de la probabilité de l'événement sommet s'effectue en propageant les probabilités d'occurrence des événements de base vers le sommet. L'attribution des probabilités aux événements de base est réalisée en puisant dans les bases de données OREDA [22].

2.2.4.3 Avantages des Arbres de Défaillance

Les arbres de défaillance offrent plusieurs avantages, notamment :

- Visualisation claire des défaillances et de leurs causes profondes
- Identification des mesures d'atténuation des risques pour améliorer la sécurité et la fiabilité des systèmes

2.2.5 Méthode LOPA

L'introduction de la norme IEC 61511 relative au niveau d'intégrité des fonctions instrumentées de sécurité (SIF) a mis en évidence l'importance d'avoir des méthodes permettant de spécifier le niveau d'intégrité ou le niveau de SIL (Safety Integrity Level) nécessaire pour les SIF.

Par conséquent, cette norme fournit une gamme de méthodes pour réaliser cet objectif, dont une est la méthode LOPA (Layer Of Protection Analysis). Même si ces standards sont dédiés spécifiquement aux SIF, les méthodologies qu'ils proposent peuvent être appliquées à divers types de barrières de sécurité [23].

Le retour d'expérience (REX) a révélé que de nombreux dispositifs de sécurité installés dans les sites industriels sont le fruit de :

- La réponse aux exigences réglementaires
- L'application de bon sens
- La prise en compte du retour d'expérience et de l'accidentologie.

2.2.6.1 Principe de la méthode LOPA

Le concept de la méthode LOPA est illustré comme le montre la figure 2.5 ci-dessous

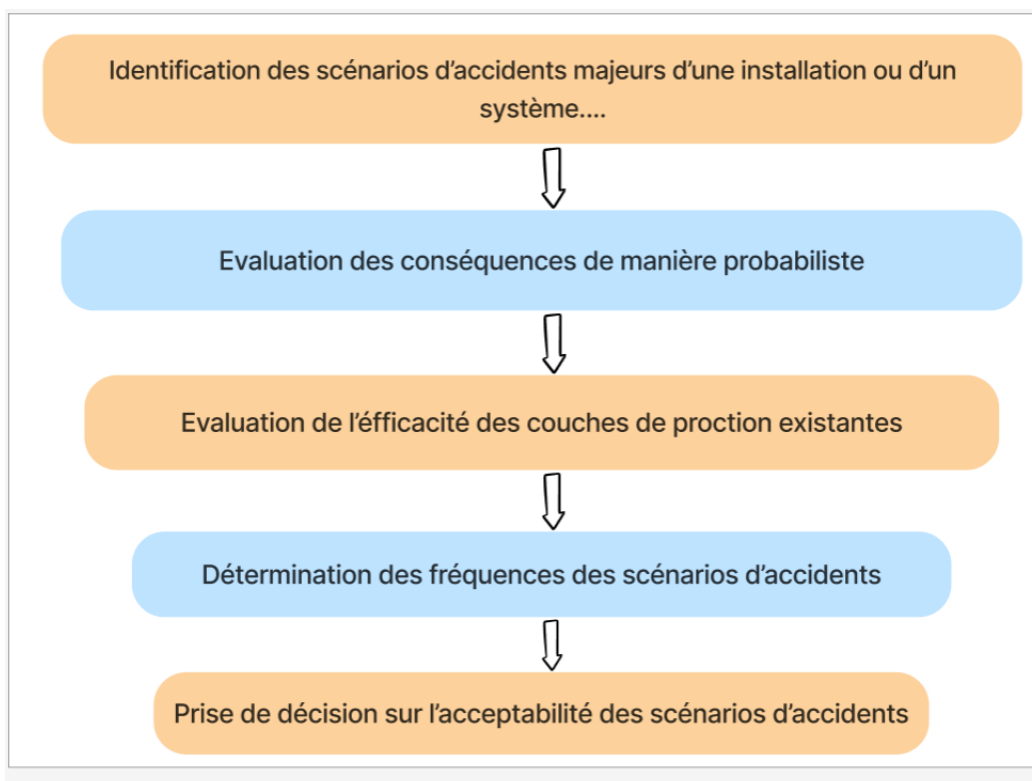


FIGURE 2.5 – Différentes couches de protection suivant la méthode LOPA

2.2.6.2 Objectifs de la méthode

LOPA est une méthode semi-quantitative mise au point dans l'objectif de :

- Évaluer la correspondance entre les mesures de sécurité déployées et le niveau de risque ciblé ;
- Déterminer le niveau de sécurité d'intégrité (SIL) à attribuer aux fonctions de sécurité instrumentées (SIF) ;
- Décider de la nécessité d'intégrer de nouvelles mesures de sécurité ;
- Établir les "exigences" minimales concernant la probabilité de défaillance des mesures de sécurité à instaurer, dans l'éventualité où les mesures de sécurité actuelles ne justifient pas un niveau de risque acceptable ;
- Estimer la fréquence d'occurrence restante d'un scénario d'accident.

2.2.6.3 Notion de couches de protection

La méthode LOPA introduit la notion de couches de protection. Elle repose sur le principe que les moyens mis en œuvre dans le but de réduire les risques sont nombreux et diversifiés.

Ces différents moyens sont prévus pour intervenir de manière graduelle dans le temps. En d'autres termes, ces différentes couches vont être « sollicitées » tour à tour avec pour objectif de « stopper » le déroulement du scénario d'accident ou d'en réduire les effets. Le concept de couches de protection est présenté en figure 2.5.[23]

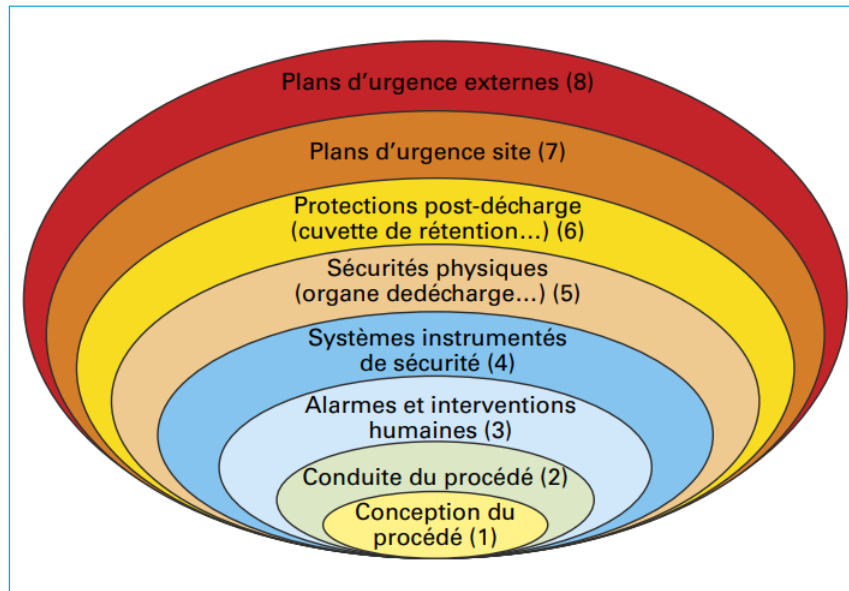


FIGURE 2.6 – Différentes couches de protection suivant la méthode LOPA [23]

Ces huit couches de protection peuvent être classifiées en deux catégories, comme illustré dans le tableau

TABLE 2.6 – Répartition des 8 couches de protection définies dans la méthode LOPA [24]

Catégorie	Couche de protection
Couches de prévention	<ul style="list-style-type: none"> - Conception du procédé - Conduite du procédé - Alarmes et interventions humaines
Couches de mitigation/protection	<ul style="list-style-type: none"> - Systèmes Instrumentés de sécurité - Sécurité physiques (organes de décharge, etc...) - Protections post-décharge (cuvette de rétention, etc...) - Plans d'urgence site - Plan d'intervention

2.2.6.5 Déroulement de LOPA

L'objectif de la méthode LOPA est d'estimer la fréquence annuelle des accidents. Pour y parvenir, il est essentiel de pouvoir quantifier les fréquences d'apparition des événements initiateurs ainsi que les probabilités de défaillance de chaque couche de protection. Les étapes clés de la méthode LOPA comprennent :

- **Étape 1 : Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer** Cette phase, qui précède l'analyse des risques, permet de restreindre la durée de l'étude en se concentrant uniquement sur les scénarios qui présentent une importance significative en termes de conséquences potentielles.

-Critères d'estimation des conséquences

Les critères retenus pour définir l'acceptation des risques sont généralement d'ordres éthiques, moraux, économiques, sociétaux, individuels, environnementaux et aussi politiques [25].

La définition des critères d'acceptabilité significatifs repose sur une estimation des conséquences à un certain degré de gravité.

Ces conséquences sont considérées comme les issues défavorables des scénarios d'accidents. Toutes ces conséquences limites seront évaluées à la fois quantitativement et qualitativement en utilisant certaines méthodes d'estimation suggérées par la méthode LOPA.

Méthode 1 Catégorisation des conséquences

Dans cette approche les conséquences estimées sont identifiées comme suite d'une séquence d'effets engendrés par un scénario d'accident non maîtrisé. L'estimation des conséquences selon cette méthode est limitée à :

L'importance de dégagement du produit en termes de quantité et leurs caractéristiques (toxicité, inflammabilité...etc.); Les pertes matérielles des équipements, d'installations et des arrêts de production; Les pertes financières engendrées par cet accident...etc. Selon cette approche, donner une estimation juste et valable aux atteintes humaines est une étape délicate pour établir les critères d'acceptabilité de certains scénarios d'accidents (dégagement des produits toxiques...). [24]

Méthode 2 Estimation quantitative avec des atteintes humaines

Cette estimation se base sur les différents impacts finaux que les scénarios d'accidents peuvent entraîner sur le personnel travaillant autour du système, la population habitant à proximité du système et aussi l'environnement passif où le système se situe [24].

- **Étape 2 : Développement des scénarios d'accidents**

Les scénarios d'accidents dans la méthode LOPA sont construits sur la base d'une analyse de risques préalable, en utilisant des méthodes conventionnelles comme HAZOP (Hazard and Operability Analysis).

Cette étape initiale d'analyse des risques aide à déterminer les causes potentielles, les conséquences, ainsi que les différentes barrières de prévention et de protection, qui seront ensuite

utilisées dans l'élaboration des scénarios d'accidents pour LOPA.

- **Étape 3 : Identification des fréquences des événements initiateurs**

Une fois les événements initiateurs identifiés pour chaque scénario d'accident, leur estimation en termes de fréquence devient cruciale pour calculer la fréquence des scénarios d'accidents.

L'événement initiateur doit être capable de conduire à la conséquence indésirable, et sa fréquence doit refléter fidèlement les aspects fondamentaux du scénario. L'estimation de ces événements s'effectue en leur attribuant des fréquences d'occurrence, généralement exprimées en nombre d'événements survenant par an.

Pour estimer la fréquence de ces événements initiateurs, LOPA utilise diverses méthodes d'estimation, telles que le retour d'expérience et l'opinion d'experts.

- **Étape 4 : Identification des couches de protection indépendantes**

La méthode LOPA exige certaines barrières de sécurité comme des couches de protection indépendantes (IPL). Pour clarifier cette distinction entre les barrières de sécurité et les IPL, on peut considérer l'hypothèse suivante : "Toutes les IPL sont des barrières de sécurité, mais pas toutes les barrières de sécurité sont des IPL" [25].

En effet, une IPL a un mode de fonctionnement spécifique et unique. Plusieurs critères fondamentaux sont retenus pour qualifier une barrière de sécurité comme une IPL.

Exemples de couches de protection

- Conception : Par exemple, l'équipement pourrait être conçu pour résister à la pression maximale dans un scénario spécifique ;
- Systèmes de contrôle de processus de base (BPCS) ;
- Conception : Par exemple, l'équipement pourrait être conçu pour résister à la pression maximale dans un scénario spécifique ;
- Alarmes d'intervention critiques : L'action des opérateurs, en réponse à des alarmes ou à des observations, peut être reconnue comme une IPL lorsque plusieurs critères sont respectés pour garantir l'efficacité de l'action ;
- Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) ;
- Systèmes de protection (par exemple, soupapes, disques de rupture, etc.)

- **Étape 5 : Détermination des fréquences des scénarios d'accidents**

La détermination de la fréquence des scénarios d'accidents est une étape clé de la méthode LOPA.

Elle permet de quantifier la probabilité d'occurrence de ces scénarios et leurs conséquences. La détermination de cette fréquence prend en compte l'indépendance des niveaux de protection, en s'appuyant sur la même approche utilisée pour les arbres d'événements. On donne :

$$F_{ic} = \pi PFD_{ij}$$

- **Étape 6 : Évaluation des risques par rapport aux critères d'acceptabilité**

Cette phase de la méthode LOPA vise à évaluer les scénarios d'accidents en les comparant aux critères d'acceptabilité prédéfinis pour garantir leur acceptabilité.

Si ces scénarios sont jugés inacceptables, des recommandations et des mesures de sécurité doivent être mises en œuvre pour les contrôler et les ramener à un niveau considéré comme tolérable (ALARP). Trois démarches sont généralement associées à la méthode LOPA pour faciliter la prise de décision finale concernant les risques :

- **Démarche I** : Consiste à comparer le risque calculé aux critères d'acceptabilité.
- **Démarche II** : L'expertise professionnelle.
- **Démarche III** : Évaluation comparative des différentes propositions visant à réduire les risques.

Les deux autres approches sont le recours à l'expertise professionnelle et la comparaison relative des différentes propositions destinées à réduire les risques.

Après définition des différentes méthodes qu'on va utiliser durant notre projet, dans le chapitre suivant, nous allons appliquer les méthodes d'analyse des risques industriels à savoir l'APR, HAZOP, AMDEC, ADD, Ade et LOPA afin d'identifier les systèmes critiques de la raffinerie Cevital, les équipements dangereux, les scénarios d'accidents possibles ainsi que les barrières de protection existantes.

Chapitre 3

Application des Méthodes d'Analyse des Risques

L'analyse des risques est une étape centrale dans toute démarche de gestion des risques, car elle nous permet de déterminer les scénarios critiques à maîtriser. En effet, en comprenant les risques auxquels nous sommes exposés, nous pouvons prendre des mesures pour prévenir leur survenue. Ainsi, l'analyse des risques est au cœur de notre stratégie de maîtrise des risques à CEVITAL.

Dans ce chapitre nous allons aborder l'analyse de risque dans toute sa globalité. Il sera ainsi exposé tout détail sur les résultats obtenus après l'application des méthodes d'analyse (APR, AMDEC, HAZOP et ADD).

3.1 Identification du système critique

Au cours de cette étape, nous allons examiner en détail les divers systèmes que comprend l'Unité de Raffinage de l'huile alimentaire Cevital afin d'effectuer une analyse fonctionnelle. Cette analyse approfondie nous permettra d'identifier tous les sous-systèmes entrant dans le fonctionnement global du système. Ensuite, nous réaliserons une Analyse Préliminaire des Risques (APR) pour chaque système afin de déterminer celui qui nécessite une étude plus approfondie et l'utilisation de méthodes complémentaires d'analyse des risques aux besoins.

-Analyse fonctionnelle

À partir de la méthode SADT, nous allons décomposer l'Unité de Raffinage en différents systèmes puis identifier les composants et fonctions de chaque système de l'unité étudiée ainsi que les principales interactions entre ses fonctions sous forme d'un schéma débutant du niveau A0 représenté dans la figure 3.1.

Cette décomposition qui se trouve en Annexe 2 sera utilisée pour mener l'ensemble des méthodes utilisées dans le cadre de la présente étude.

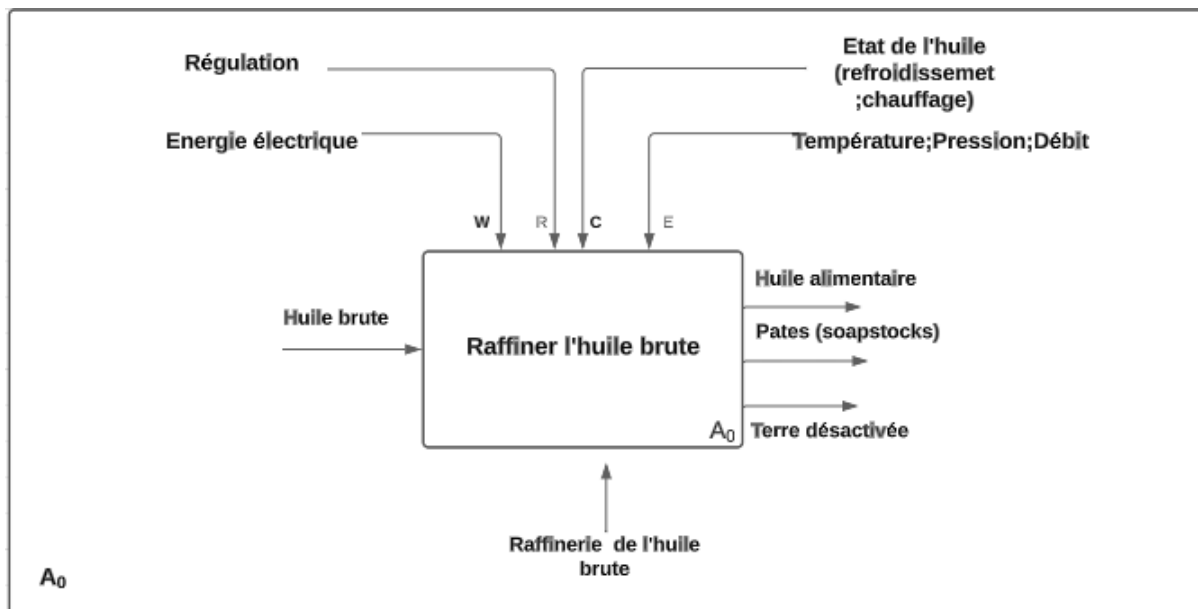


FIGURE 3.1 – Diagramme A-0

3.1.1 Application de l'Analyse Préliminaire des Risques

Dans cette partie, nous allons appliquer l'APR pour l'ensemble des systèmes de l'unité de Raffinage de l'huile Cevital, identifiés par la méthode SADT et l'analyse fonctionnelle supplémentaire.

3.1.1.1 Identification des activités et sources de danger

Lors des visites des lieux de l'unité de Raffinage, on a examiné attentivement l'environnement physique dans lequel les activités ont lieu. on a observé les installations, les équipements, les processus de travail et les flux de matières.

L'objectif est de comprendre en détail comment les opérations sont menées et quelles sont les interactions entre les différents éléments présents sur le site. Cette étape est cruciale pour collecter les données nécessaires à l'évaluation des risques et la déduction des causes et conséquences probables d'un événement redouté.

3.1.1.2 Critères d'évaluation

Pour évaluer la criticité des risques, nous utilisons des grilles d'appréciation qui prennent en compte la probabilité d'occurrence à savoir la Table 3.1 et la gravité des événements présentée da la Table 3.2.

Ces grilles ont été adaptées à partir des grilles INERIS et ont été validées par l'équipe de l'unité de Raffinage ainsi que par l'encadrement pédagogique, après consultation des bases de données de l'accidentologie du groupe Cevital ainsi que l'historique des accidents dans le secteur agroalimentaire. En combinant ces deux facteurs, c'est-à-dire la gravité et la probabilité, nous obtenons une matrice de hiérarchisation des risques (Matrice de Criticité) comme le montre la Figure 3.2.

TABLE 3.1 – Echelle de probabilité de l'APR

Probabilité	
Niveau	Echelle quantitative
4	Courant : Se produit sur le site considéré et ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations malgré d'éventuelles mesures correctives (de l'ordre de $(P > 10^{-2})$)
3	Probable : S'est produit et ou peut se produire pendant la durée de vie des installations ($10^{-3} < P < 10^{-2}$)
2	Improbable : Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial sans que d'éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ($10^{-4} < P < 10^{-3}$)
1	Rare : S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité

TABLE 3.2 – Echelle de gravité de l'APR

Gravité			
Niveau	Cibles humaines	Cibles environnementales	Dommages matériels
1	Modéré :pas de zone de létalité hors de l'établissement	Aucune atteinte significative de l'environnement	Moins de 0.03 M d'euro
2	Sérieux :au plus une personne exposée	Dégradation de l'environnement ne nécessitant pas la mise en place d'une remédiation sans atteinte des espèces protégées	Entre 0.03 M et 0.3 M d'euro
3	Important :entre 1 et 10 personnes exposées	Dégradation de l'environnement ne nécessitant pas la mise en place d'une remédiation sans atteinte des espèces protégées	Entre 0.3 M et 3 M d'euro
4	Désastreux :Plus de 100 personnes exposées	Atteinte grave à l'environnement avec effets irréversibles nécessitants de lourde mesures de remise en état	300 M d'euro ou plus

Répartition des Risques dans l'Installation de Raffinage de l'HUILE						
Niveau de Gravité	Désastreux	5				
	Catastrophique	4				
	Important	3				
	Sérieux	2				
	Modéré	1				
			1	2	3	4
			Rare	Improbable	Probable	Courant
Niveau de Probabilité						

FIGURE 3.2 – Matrice de Criticité

3.1.2.3 Déploiement de l'APR

Nous allons appliqué l'APR sur les quatre systèmes identifiés par la méthode SADT dans la figure ces systèmes sont les suivants :

- Locaux administratifs et de contrôle ;
- Installation de raffinage de l'huile (section Naturalisation, Décoloration et Désodorisation) ;
- Stockage des produits chimiques ;
- Stockage des liquides /gaz.

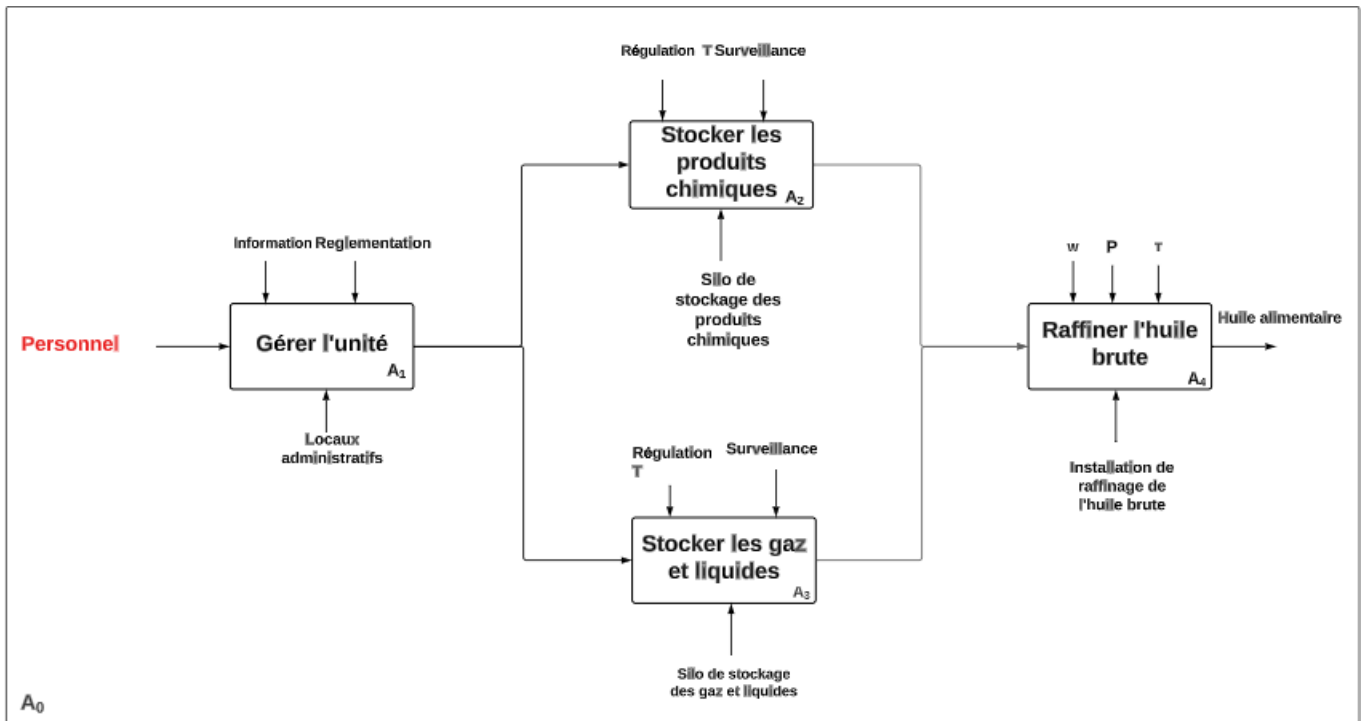


FIGURE 3.3 – Diagramme A0 détaillé

L'application de l'APR sur les 4 systèmes comme le montre la figure 3.4 se trouve dans les annexes 3,4,5 et 6. Les tables à savoir la Table 3.3, la Table 3.4, la Table 3.5 et la Table 3.6, résument respectivement le pourcentage du niveau de risque de toute l'unité de Raffinage étudié dans l'APR en fonction des niveaux de risque avec et sans barrières de sécurité existantes :

APR installation de raffinage de l'huile													
Etape	SS	ED en mode fonctionnement	Evénement Redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesure de prévention	P'	Mesure de protection	G'	C'
		Pompe	Augmentation de la température	-Défaillance de la pompe -Phénomène de cavitation -Erreur technique	-Perte de la pompe -Perturbation de la production	3	3	9	-Maintenance régulière de la pompe -Audit technique interne	2	-Extincteurs -Arrêt d'urgence à distance de toutes les installations adjacentes	2	4
			Encrassement	-Manque d'entretien - Dépôts de calcaire(Eau salée)	-Fuite de l'huile -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive -Contrôle et Entretien périodique	2	-Déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	4	8

FIGURE 3.4 – APR système 1

- **Première évaluation sans les mesures de prévention et de protection**

Nous avons fait une première évaluation sur les événements redoutés présents dans les systèmes de raffinerie Cevital sans prendre en compte les barrières de sécurité et les mesures de prévention, les résultats de cette évaluation est illustré dans la Table 3.3 suivante :

TABLE 3.3 – Répartition des niveaux de risque

Typologie de risque	Risque acceptable	Risque tolérable	Risque inacceptable	Total
Nombre de ERs	6	57	16	79
Pourcentage %	7,60	72,15	20,25	100

Cette répartition de ERs selon leur niveau du risque est représentée dans la Figure 3.4

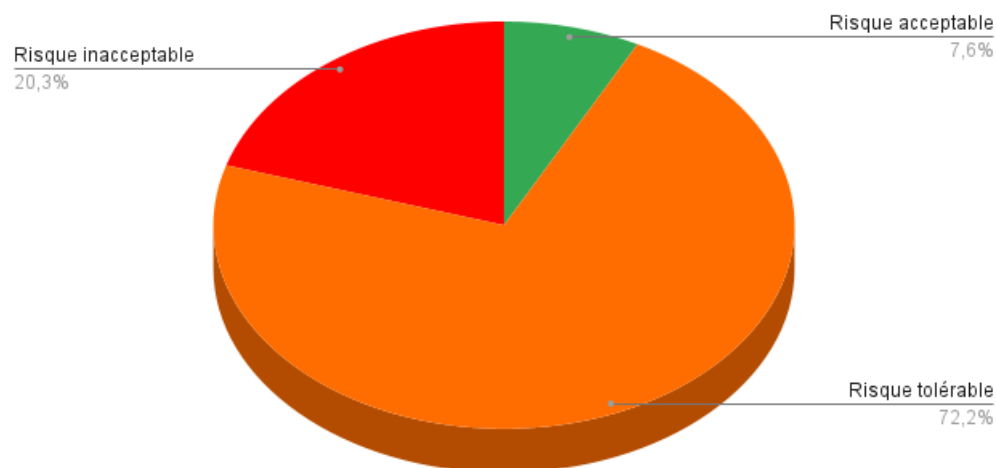


FIGURE 3.5 – Répartition du niveau risques au sein de la raffinerie d'huile de Cevital (sans barrières de sécurité)

La répartition des risques de chaque système étudié est montrée dans la Table 3.4 suivante :

TABLE 3.4 – Niveau du risque par système

Système	Typologie de risque	Risque Acceptable	Risque Tolérable	Risque Inacceptable
1	Locaux administratifs et de contrôle	0	8	0
2	Installation de raffinage de l'huile	4	34	13
3	Stockage des produits chimiques	0	7	1
4	Stockage des liquides /gaz	2	8	2

La figure 3.6 représente la répartition des résultats obtenus :

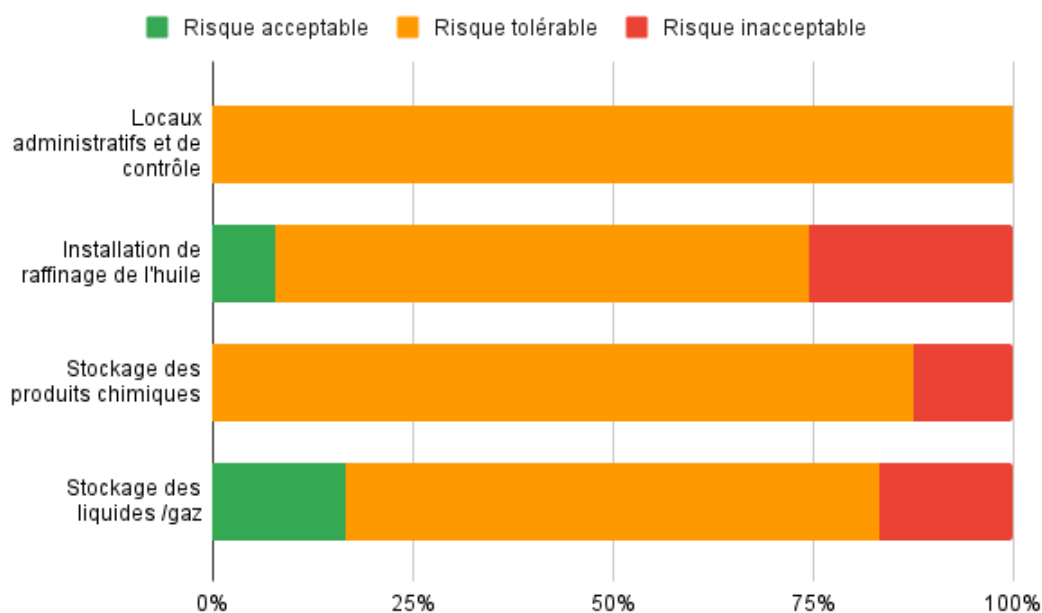


FIGURE 3.6 – Répartition du niveau du risque par système (sans barrières de sécurité)

-Interprétation des résultats

Suite à l'analyse de répartition des risques critiques dans chaque installation étudiée par l'APR, nous avons constaté que l'Installation de raffinage de l'huile abrite la grande majorité des risques inacceptables, soit **81,25 %**.

Cette installation présente un risque potentiel d'explosion en raison de la présence de combustible Gaz naturel, de produits chimiques utilisés et de la nature complexe des équipements qu'elle

contient. En ce qui concerne les risques tolérables, cette même installation en représente plus de la moitié, soit **59,65 %**.

Les locaux administratifs et de contrôle représentent **14,04 %** des risques tolérables et ne présentent aucun risque inacceptable.

Le stockage des produits chimiques représente **12,28 %** des risques tolérables, et présence d'un risque majeur dû à la présence de la terre décolorante usée.

Enfin, le stockage des liquides/gaz représente **14,04 %** des risques tolérables, avec deux risques inacceptables dû à la présence de gaz et de liquides explosifs et d'acides concentrés.

Dans l'ensemble, nous constatons que parmi les 79 évènements redoutés identifiés et qui peuvent provoqués des risques dans l'unité, **07,60 %** des ces risques sont maîtrisés, **72,15 %** sont considérés comme tolérables (As Low As Reasonably Practicable - ALARP), tandis que **20,25 %** des risques sont classés comme inacceptables (Majeurs) dans l'unité de raffinage de l'huile alimentaire.

- **Deuxième évaluation avec la présence de mesures de prévention et de protection**

TABLE 3.5 – Répartition des niveaux de risque

Typologie de risque	Risque acceptable	Risque tolérable	Risque inacceptable	Total
Nombre de ERs	52	24	3	79
Pourcentage %	65,82	30,38	3,80	100

La figure 3.7 représente la répartition des pourcentages obtenus :

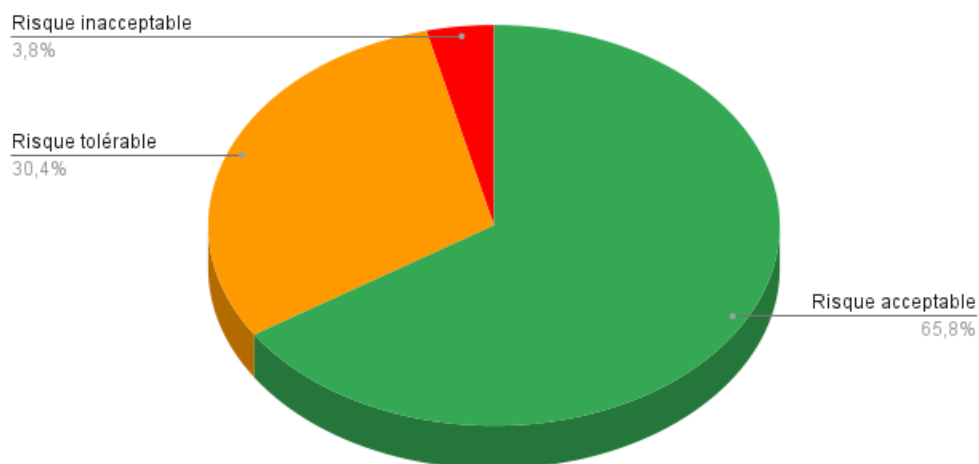


FIGURE 3.7 – Répartition du niveau risques au sein de la raffinerie d'huile de Cevital (avec barrières de sécurité)

La répartition des risques de chaque système étudié est montrée dans la Table 3.6 suivante :

TABLE 3.6 – Niveau du risque par système

Système	Typologie de risque	Risque Acceptable	Risque Tolérable	Risque Inacceptable
1	Locaux administratifs et de contrôle	8	0	0
2	Installation de raffinage de l'huile	28	20	3
3	Stockage des produits chimiques	7	1	0
4	Stockage des liquides /gaz	9	3	0

La figure 3.8 représente la répartition des résultats obtenus :

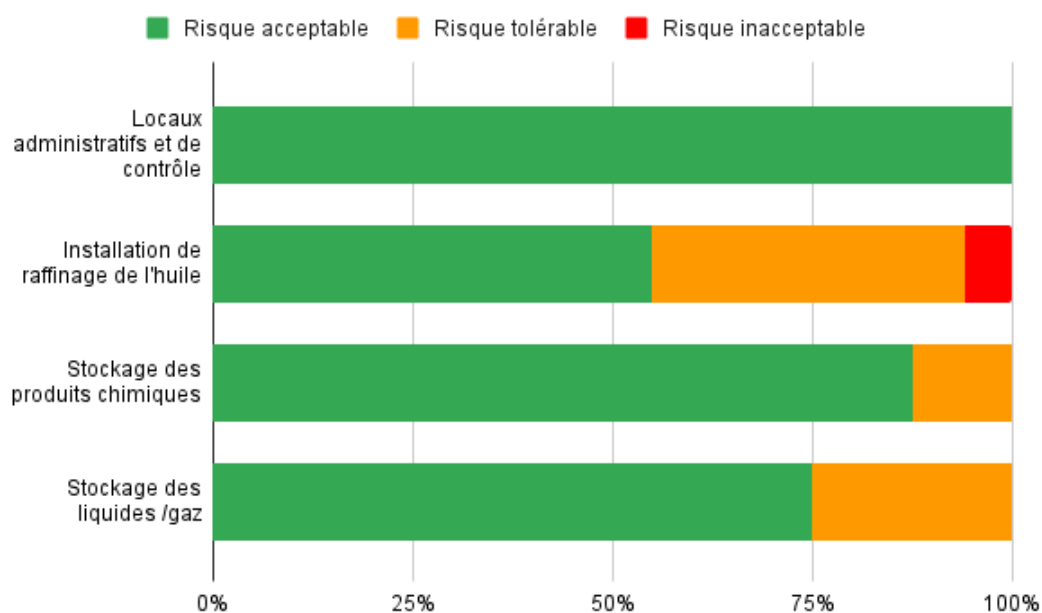


FIGURE 3.8 – Répartition du niveau du risque par système (avec barrières de sécurité)

-Interprétation des résultats

Après une deuxième évaluation, le nombre total d'événements redoutés identifiés dans l'analyse est de **79 ERs**.

En prenant en considération la présence des mesures de prévention et de protection, on a constaté que **52 ERs** identifiés sont considérés comme de niveau de risque acceptable, ce qui représente **65,82 %** de l'ensemble des événements redoutés. Cela signifie que la grande majorité des

risques identifiés sont considérés comme acceptables selon les critères de l'analyse.

Il y a **24** ERs qui sont classés comme des risques tolérables, représentant **30,38 %** de l'ensemble des événements redoutés. Ces risques tolérables indiquent des situations qui peuvent être gérées avec des mesures de prévention et de protection appropriées.

Trois ERs sont classés comme des risques inacceptables, ce qui représente **3,80 %** de l'ensemble des événements redoutés. Ces risques inacceptables nécessitent une attention particulière, car ils présentent un niveau élevé de danger et doivent être traités de manière urgente et appropriée pour garantir la sécurité.

Selon le résultat de la répartition des risques critiques présents dans chaque installation étudiée par l'APR nous remarquons que Installation de raffinage de l'huile représente plus de la moitié des risques tolérables avec **83.33 %** et la totalité des risques Inacceptables **100% (3ER)** cela s'explique par rapport au combustible de gaz naturel utilisé dans le process et les équipements dangereux comme la chaudière, séparateur, échangeur, mélangeur etc...

3.1.2.4 Détermination des équipements et installations critiques présent dans l'installation de Raffinage de l'huile

Afin de déterminer les équipements critiques de l'installation, on a hiérarchisé les risques inacceptables dans la matrice de criticité afin de ressortir les équipements qui provoquent ces risques inacceptables.

Les résultats sont déterminés sur la Figure 3.9

Répartition des Risques dans l'Installation de Raffinage de l'HUILE						
Niveau de Gravité	Désastreux	5			Chaudière (Risque Explosion)	
	Catastrophique	4	Bac Tompon	Echauffeur	Séparateur (Risque Incendie)	
	Important	3	Vanneries	Filtre Niagara		
	Sérieux	2				
	Modéré	1				
			1	2	3	4
			Rare	Improbable	Probable	Courant
Niveau de Probabilité						

FIGURE 3.9 – Répartition des risques dans l'installation de raffinage de l'huile brute

-Interprétation des résultats obtenus et indiqués sur la Figure 3.9

Selon les résultats obtenus, on constate que la Chaudière et le séparateur centrifuge sont le siège présentant un risque inacceptable dans cette installation. Ces deux équipements nécessitent une évaluation approfondie à l'aide de méthodes d'analyse des risques supplémentaires à savoir la HAZOP et AMDEC.

La Chaudière est associée aux risques de surchauffe et de fuite de gaz, pouvant potentiellement conduire à une explosion. Le Séparateur centrifuge est également identifié comme présentant des risques d'incendie.

Nous allons faire une étude approfondie sur l'installation qui présente le plus de risque inacceptable dans l'unité de Raffinage (installation de raffinage), particulièrement les deux installations dangereuses à savoir la chaudière à vapeur et le séparateur centrifuge, Pour remédier à ces derniers nous avons décidé d'établir toute une étude complétée par d'autres méthodes dans le but d'analyser les risques critiques au niveau de la chaudière et le séparateur.

-Confirmation du choix des systèmes critiques à étudier

Afin d'appuyer notre résultat de l'APR on a procédé à une analyse du retour d'expérience sur les équipements critiques.

-Analyse du retour d'expérience sur la chaudière à vapeur

Selon la base de données ARIA 175 événements se sont produits entre 1972 et 2014. La répartition de ses événements est représentée dans la figure 3.10.[5]

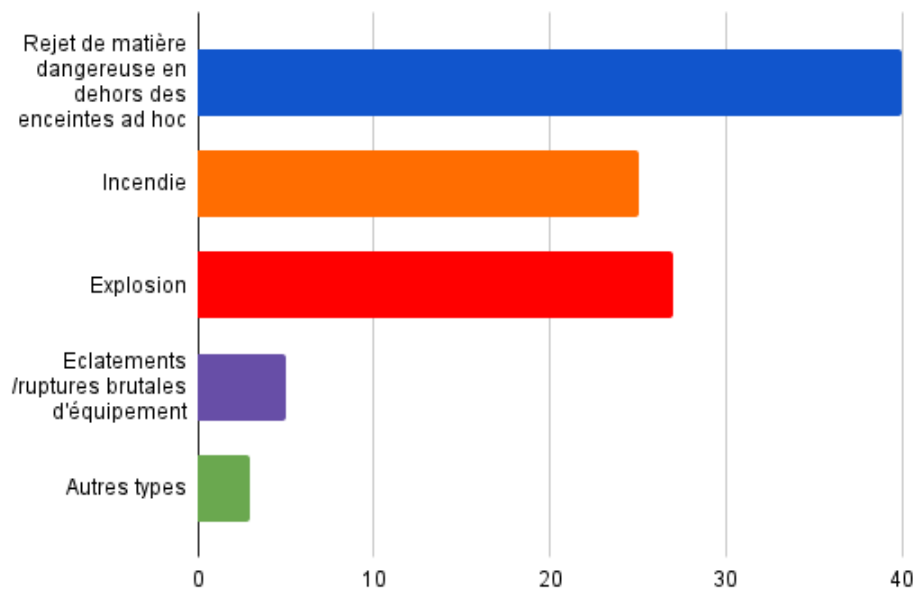


FIGURE 3.10 – Répartition des phénomènes dangereux parmi les cas impliquant des chaudières à gaz

3.2 Analyse approfondie du premier sous système critique : Chaudière à vapeur GMT/HP-1000

Compte tenu des résultats de notre analyse jusqu'à présent, qui indiquent que la chaudière à vapeur est l'un des systèmes présentant le plus haut niveau de risques critiques, nous avons adopté d'autres méthodes d'analyse à savoir la méthode HAZOP et l'arbre de défaillance (ADD), afin d'approfondir notre analyse sur le système critique et de déterminer les causes profondes responsables de ces risques ainsi que leurs conséquences.

Dans cette section, nous allons décrire la chaudière à vapeur GMT/HP-1000, donner ses principales caractéristiques de conception, paramètres de fonctionnement ainsi que les composants de contrôle et de sécurité de l'équipement. Ensuite nous allons appliquer la HAZOP et interpréter les résultats de cette dernière.

3.2.1 Présentation de la chaudière à vapeur GMT/HP-1000

- Description de la Chaudière à vapeur GMT/HP-1000

La série GMT/HP de chaudières à vapeur à serpentin de circulation naturelle à haute pression à une pression de fonctionnement standard allant jusqu'à 90 bar et couvre une large gamme de puissances de chauffage de 116 à 5815 kW. Cette série de chaudières a été développée pour être installée dans des installations industrielles de production d'huiles végétales [26].

Les chaudières de la série GMT/HP sont utilisées dans le cadre d'un circuit de vapeur vertical fermé avec circulation naturelle de la vapeur dans les installations de désodorisation d'huiles végétales.

La désodorisation est la dernière étape du raffinage de l'huile. L'opération consiste à injecter de la vapeur sèche dans l'huile maintenue sous vide (3 mbar) à haute température (220-260 °C) générée par la chaudière à vapeur. Il s'agit donc d'un entraînement à la vapeur des substances odorantes et des acides gras libres résiduels qui sont plus volatiles que l'huile neutre. La figure 3.11 illustre le circuit de vapeur entre la chaudière et la colonne de désodorisation.

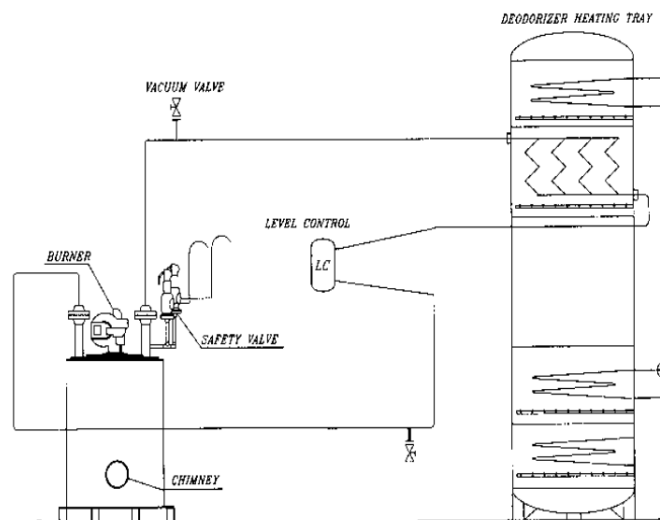


FIGURE 3.11 – Circuit de vapeur chaudière vers la colonne de désodorisation

[2]

- Principales caractéristiques de conception de la chaudière série GMT/HP

Pour bien accomplir notre HAZOP il est nécessaire de déterminer les composants de notre équipement et leurs principales caractéristiques.

La chaudière à vapeur de type GMT/HP-1000 est caractérisée par [26] :

- Le brûleur à 3 passages, composé de deux serpentins disposés coaxialement, offre un rendement élevé jusqu'à 84 % et une faible teneur en NOx dans les gaz de combustion ;
- Isolation thermique extérieure de 100 mm d'épaisseur avec un revêtement métallique de protection le long de la surface cylindrique de la chaudière ;
- La conception verticale de la chaudière offre la possibilité de placer une petite chaufferie dans des conditions exigües ;
- Le faible volume interne d'eau et de vapeur permet d'utiliser la chaudière dans des chaufferies intégrées dans des bâtiments industriels existants ;
- Poids relativement faible de la chaudière avec de l'eau ;
- Le couvercle supérieur ouvrant d'un cuivre permet d'accéder facilement à une bobine pour le nettoyage, l'entretien programmé et la réparation ;
- Possibilité d'extraire et de remplacer la bobine ;
- La possibilité d'utiliser des brûleurs monoblocs fonctionnant aux combustibles liquides et gazeux, avec contrôle de puissance modulé, de n'importe quel fabricant.

La figure 3.12 représente la chaudière à vapeur de type GMT/HP-1000.



FIGURE 3.12 – Chaudière à vapeur de type GMT/HP-1000
[26]

- Paramètres de fonctionnement

La HAZOP étudie les déviations des paramètres dans chaque nœud choisis donc il est important de définir ces derniers.

La chaudière à vapeur GMT/HP-1000 fonctionne selon les paramètres illustrés dans le tableau 3.7

TABLE 3.7 – Paramètres de fonctionnement

Pression de travail maximale	75 bars
Pression de réglage du pressostat	80 bars
Pression de réglage de la soupape de sécurité	90 bars
Capacité hydraulique	75 m ³ /h
Température d'alimentation min/max	0 / 100 °C
Capacité	1163 KW
Capacité du circuit vapeur-eau, L	557.0L
Vapeur produite	3121 Kg/h
Température Min / Max	0 / 311°C
Volume	557 L

Dans la raffinerie de l'huile alimentaire Cevital, la chaudière à vapeur fonction à une pression qui varie entre 50 et 70 bar selon le besoin.

- Description des composants de fonctionnement, systèmes de sécurité et de contrôle de la chaudière à vapeur

Dans la HAZOP les composants de l'équipement sont inclus dans les circuits tel que chaque circuit chemine un ensemble de composants.

Pour garantir un fonctionnement sûr, efficace et sécurisé, la chaudière à vapeur GMT/HP-1000 est équipée de plusieurs composants et systèmes de sécurité intégrés. Les détails spécifiques peuvent varier selon le modèle et le fabricant, ces derniers sont illustrés dans la figure 3.13.

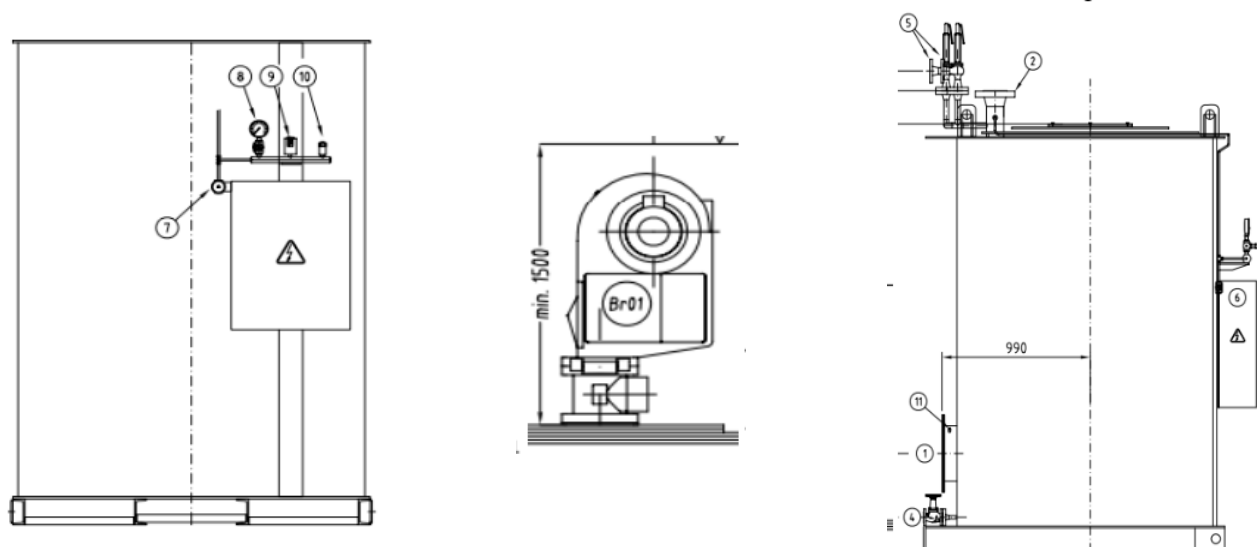


FIGURE 3.13 – Composants de la chaudière à vapeur

[26]

3.2.1 Analyse approfondie sur le système chaudière à vapeur

- Décomposition fonctionnelle du système

Avant de commencer l'étude HAZOP, on va faire une décomposition fonctionnelle de la chaudière afin de déterminer toutes les fonctions de cette dernière ainsi que l'interaction entre ces fonctions. La table 3.8 décrit les différents systèmes (fonctions) et leurs composants que montre la figure 3.13 et l'analyse SADT détaillée de la chaudière qui se trouve en annexe 1.

TABLE 3.8 – Décomposition fonctionnelle de la chaudière à vapeur [26]

Code	Système	Composants
1	Système d'évacuation de fumée	-Cheminé ; -Système de contrôle de la température de la fumée (Sonde de température , indicateur de T, thermostat, système d'arrêt d'urgence, alarme).
2	Système de distribution de vapeur	-Vanne à 3 voies ; -Système de contrôle de la pression de la vapeur (Manomètre et capteur de pression, commutateur de pression, soupape de sécurité, alarme) ; -Système de contrôle de la température de la vapeur (Sonde de température, indicateur de T, thermostat, système d'arrêt d'urgence, alarme).
3	Système d'entrée d'eau	-Vanne d'entrée d'eau ; -Régulateur de pression et température ; -Pressostat et Thermostat ;
4	Système de vidange de la chaudière	Vanne de vidange ;
5	Système de régulation et décharge de pression	Soupape de sécurité (Indicateur de rupture du disque, disque de rupture, Alarme, conduite de sortie, capteur)
6	Système de contrôle	Armoire électrique (Capteur de pression, température, débit, capteur de détection de flamme, bouton d'arrêt d'urgence, signalisation sur les différents paramètres contrôlés.
Br01	Brûleur	-Source de flamme (électrode) ; -Entrée de gaz et l'air ; -Détecteur de pression de gaz ; Système de contrôle de la température de gaz de combustion.

Connaître les différents composants et fonctions de la chaudière à vapeur, nous permettra de bien comprendre le fonctionnement du système, de diviser le système en différents nœuds, de déduire les paramètres des fluides à évaluer et les déviations potentielles possibles de ces paramètres, afin de bien mener notre étude HAZOP.

3.2.2 Analyse des risques par la méthode HAZOP

L'analyse HAZOP est une méthode utilisée pour examiner les conséquences potentielles de certaines déviations dans les systèmes thermohydrauliques. Après avoir fait une décomposition fonctionnelle de la chaudière et déterminer ses fonctions et composants,, nous allons diviser la chaudière en nœud et nous déterminons les paramètres de chaque nœud puis on commence le déploiement de l'étude HAZOP.

3.3.2.1 Déploiement de la méthode

- Choix des nœuds et des paramètres à évaluer durant notre étude

Notre étude s'est concentrée sur l'examen des quatre nœuds hydrauliques à savoir les circuits (eau vapeur, gaz et fumée) qui constituent la chaudière à vapeur, le choix est fait en se basant sur le changement des paramètres (Températures, Pression et Débit) dans chaque nœuds comme le montre la figure 3.14 représentant la SADT détaillée de la chaudière au niveau A4.33.

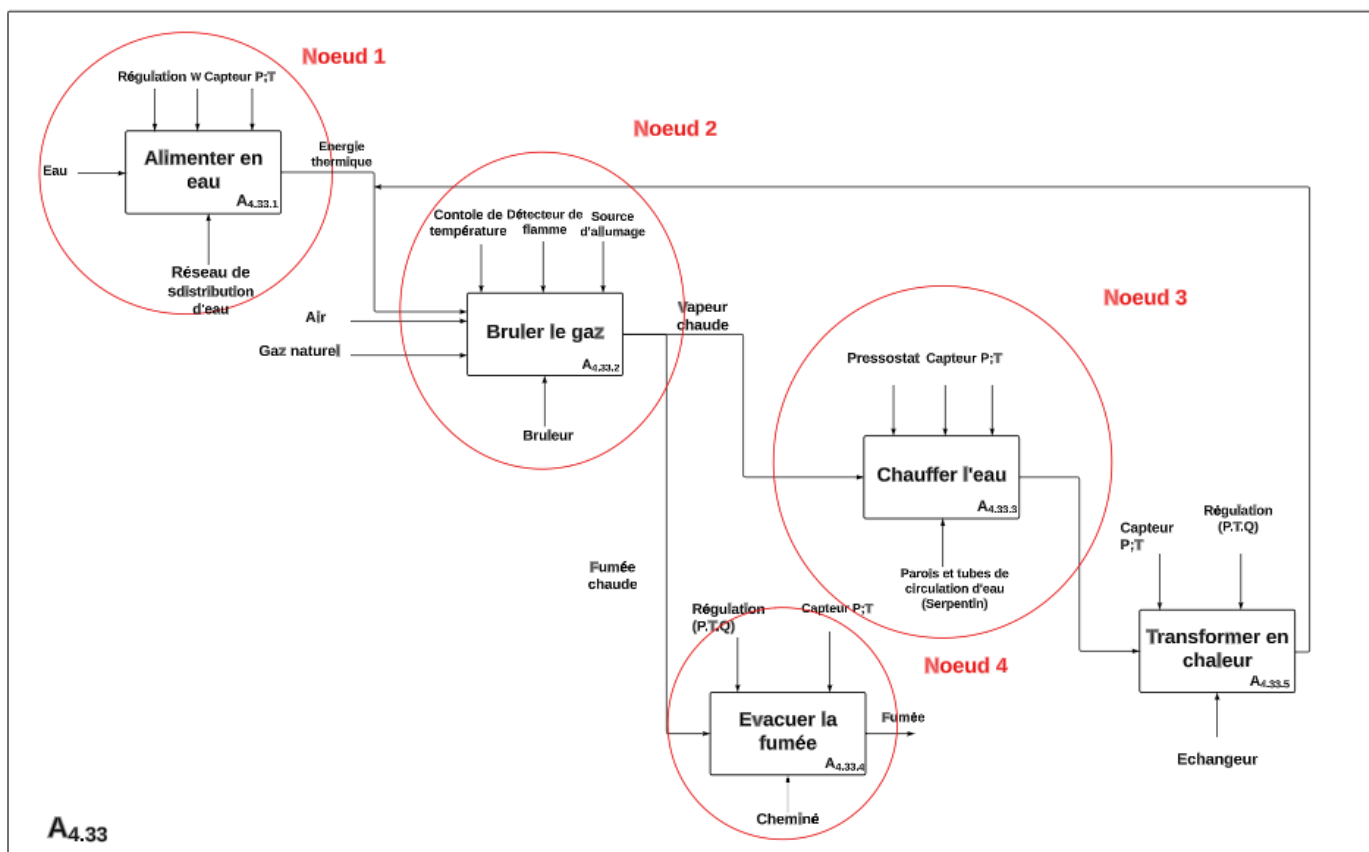


FIGURE 3.14 – SADT au niveau A4.33

Les nœuds représentés sur la figure :

- **Nœud 01** : Circuit eau (de l'échangeur de chaleur vers la chaudière) ;
- **Nœud 02** : Circuit gaz (du stockage de gaz vers la chambre de combustion) ;
- **Nœud 03** : Circuit vapeur (de la chaudière vers l'échangeur de la colonne de distillation).

- **Nœud 04** : Circuit de fumée (de la chambre de combustion vers la cheminée (“sortie vers l’extérieur”).

Dans le contexte de l’étude HAZOP (Hazard and Operability Study), chaque nœud est caractérisé par un ensemble de paramètres. Ces paramètres peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, notamment des conditions d’exploitation, de la conception du système, les paramètres (pression, température, débit) sont choisis. Ces derniers sont sélectionnés pour chaque nœud dans la Table 3.9 ci-dessous.

TABLE 3.9 – Choix des nœuds et paramètres

Paramètre Nœuds	Pression	Température	Débit
Nœud 01	x	x	x
Nœud 02	x		x
Nœud 03	x	x	
Nœud 04	x	x	

Dans ce qui suit, nous allons utiliser ces données afin de réaliser une étude HAZOP sur la chaudière à vapeur étudiée. L’application de HAZOP sur la chaudière et ses résultats sont mentionnés en détail dans les tableaux HAZOP en Annexe 7.

Étant donné que l’analyse effectuée jusqu’à présent a démontré que le séparateur centrifuge est l’un des systèmes qui présente le plus de risques critiques, il est nécessaire de recourir à d’autres méthodes pour compléter cette analyse.

3.2.2.2 Résultats et interprétation

Après avoir appliqué une étude HAZOP sur le premier système critique qui est la chaudière, nous avons pu identifier les déviations potentielles de chaque circuit fluide de la chaudière, les causes de ces déviations ainsi que leurs conséquences.

Selon les résultats obtenus dans le tableau HAZOP chaudière qui se trouve en annexe 9, il apparaît que les causes principales des déviations sont de nature technique.

Les déviations potentielles des différents circuit fluide de la chaudière sont les suivants :

- Haute ou basse pression dans le circuit d’eau, de la colonne vers la chaudière ;
- Haut ou bas débit dans le circuit d’eau, de la colonne vers la chaudière ;
- Haute température dans le circuit d’eau, de la colonne vers la chaudière ;
- Haute ou basse pression dans le circuit gaz naturel (Stockage vers le Brûleur) ;
- Haut ou bas débit dans le circuit gaz naturel (Stockage vers le Brûleur) ;
- Haute ou basse pression dans le circuit vapeur (de la chaudière vers l’échangeur de la colonne de distillation) ;
- Haute température dans le circuit vapeur (de la chaudière vers l’échangeur de la colonne de distillation) ;

- Haute température dans le circuit de fumée (chambre de combustion vers la cheminée et vers l'extérieur ;
- Haute pression dans le circuit de fumée (chambre de combustion vers la cheminée et vers l'extérieur.

Bas débit dans le circuit d'eau ;

Nous avons identifié via l'étude HAZOP, trois événements redoutés qui pourront être provoqué par l'apparition de l'une des déviation potentielles identifiées par l'HAZOP Les déviations qui peuvent provoquer une accumulation de gaz ou vapeur inflammable dans la chambre de combustion qui va engendrer une explosion sont les suivantes :

- **Accumulation des gaz ou vapeur inflammables dans la chambre de combustion ;**
- **Haut débit dans le circuit gaz naturel ;**
- **Basse pression (Fuite de gaz) dans le circuit gaz naturel.**

Les déviations qui peuvent provoquer un incendie sont les suivantes :

- Bas débit dans le circuit d'eau ;**
- Basse pression dans le circuit d'eau.**

3.2.3 Arbres de défaillance

Après avoir appliqué la méthode HAZOP (Hazard and Operability Study) pour identifier les déviation potentielles, leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de la chaudière et leurs effets sur les équipements, l'environnement et le personnel, nous allons maintenant utiliser l'outil d'arbre de défaillance.

Cette technique graphique nous permettra de visualiser les différentes façons dont un système peut échouer, et d'identifier les causes potentielles de ces défaillances. C'est une étape essentielle pour comprendre les risques associés à notre système et pour développer des stratégies efficaces de prévention et de contrôle des risques.

Les évènements redouté auxquels nous développons un arbre de défaillance sont :

- **Accumulation de gaz et vapeur inflammable dans la chambre de combustion ;**
- **Surpression ;**
- **Fuite de gaz.**

Les combinaisons de causes potentielles pour chaque événement redouté sont illustrées dans les arbres de défaillance, comme le montrent les figures 3.15 , 3.16 et 3.17 :

Pour chaque événement redouté , une probabilité d'occurrence est calculée afin d'identifier les événements les plus susceptibles de se produire. Les données de la base OREDA sont utilisées pour déterminer les probabilités de défaillance des éléments fondamentaux de chaque arbre. Ces probabilités sont ensuite utilisées pour estimer la probabilité de l'événement indésirable.

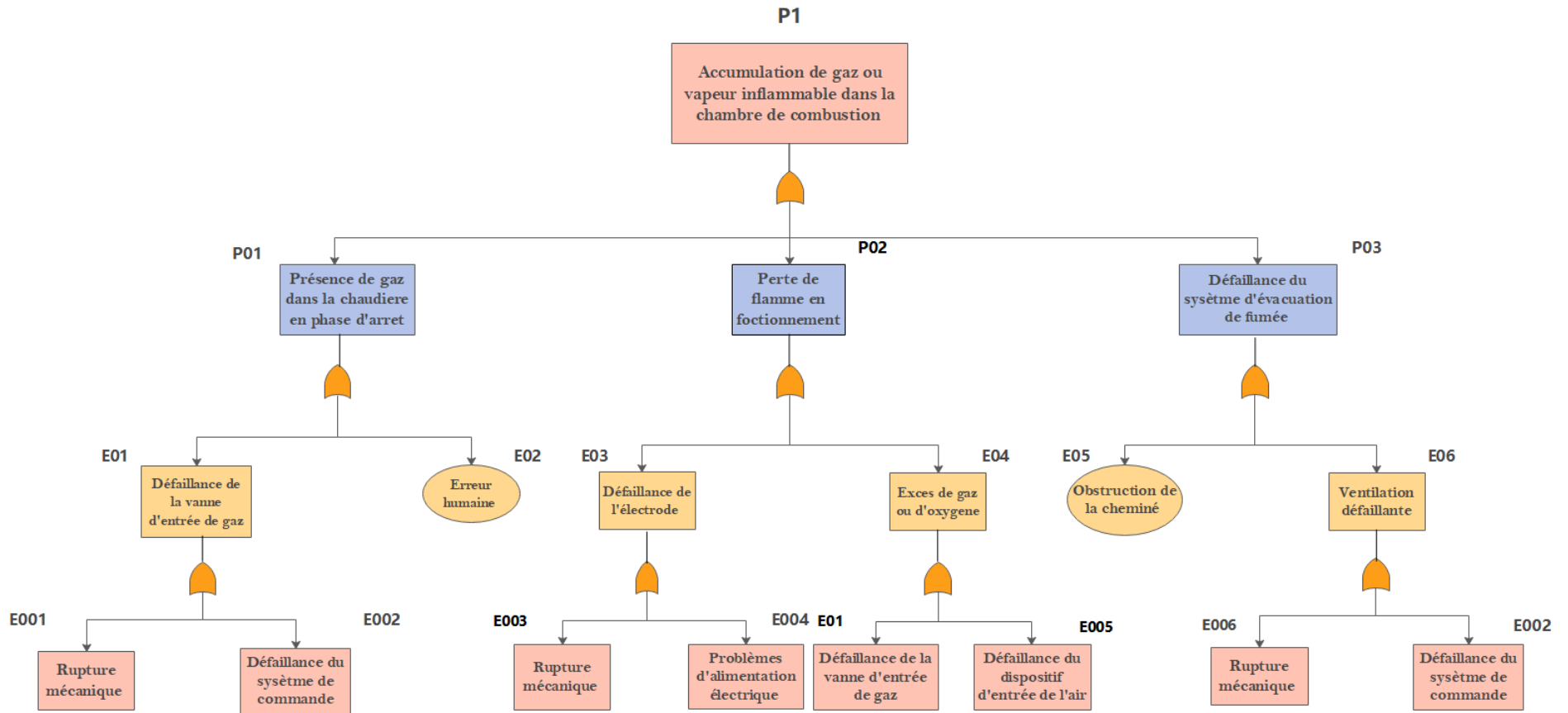


FIGURE 3.15 – Arbre de défaillance 1 pour ER1

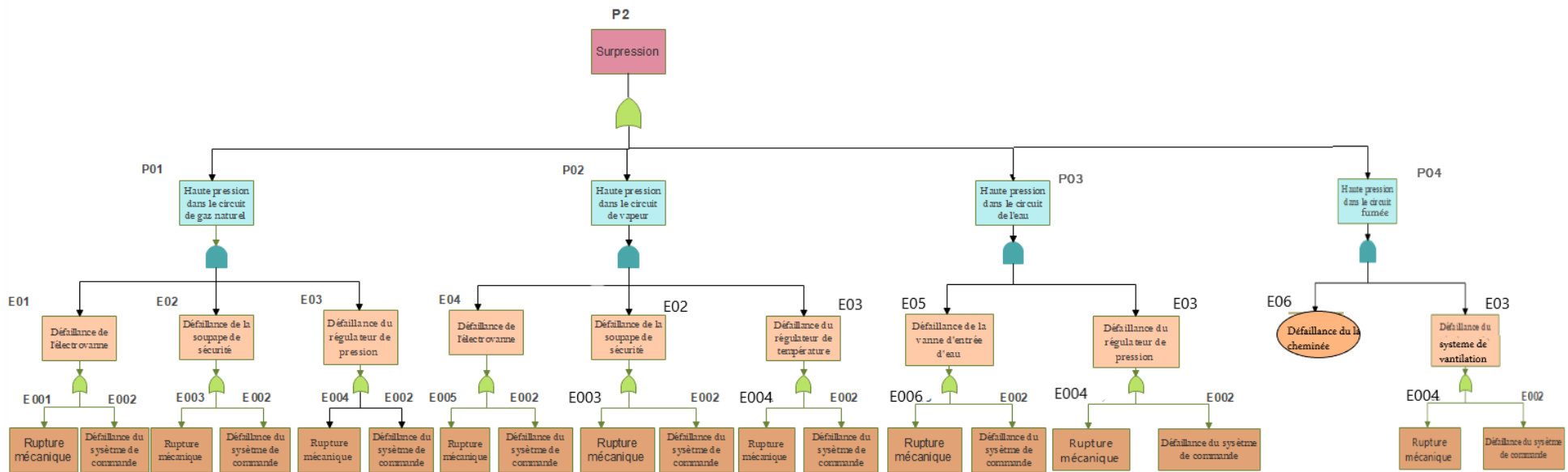


FIGURE 3.16 – Arbre de défaillance 2 pour ER2

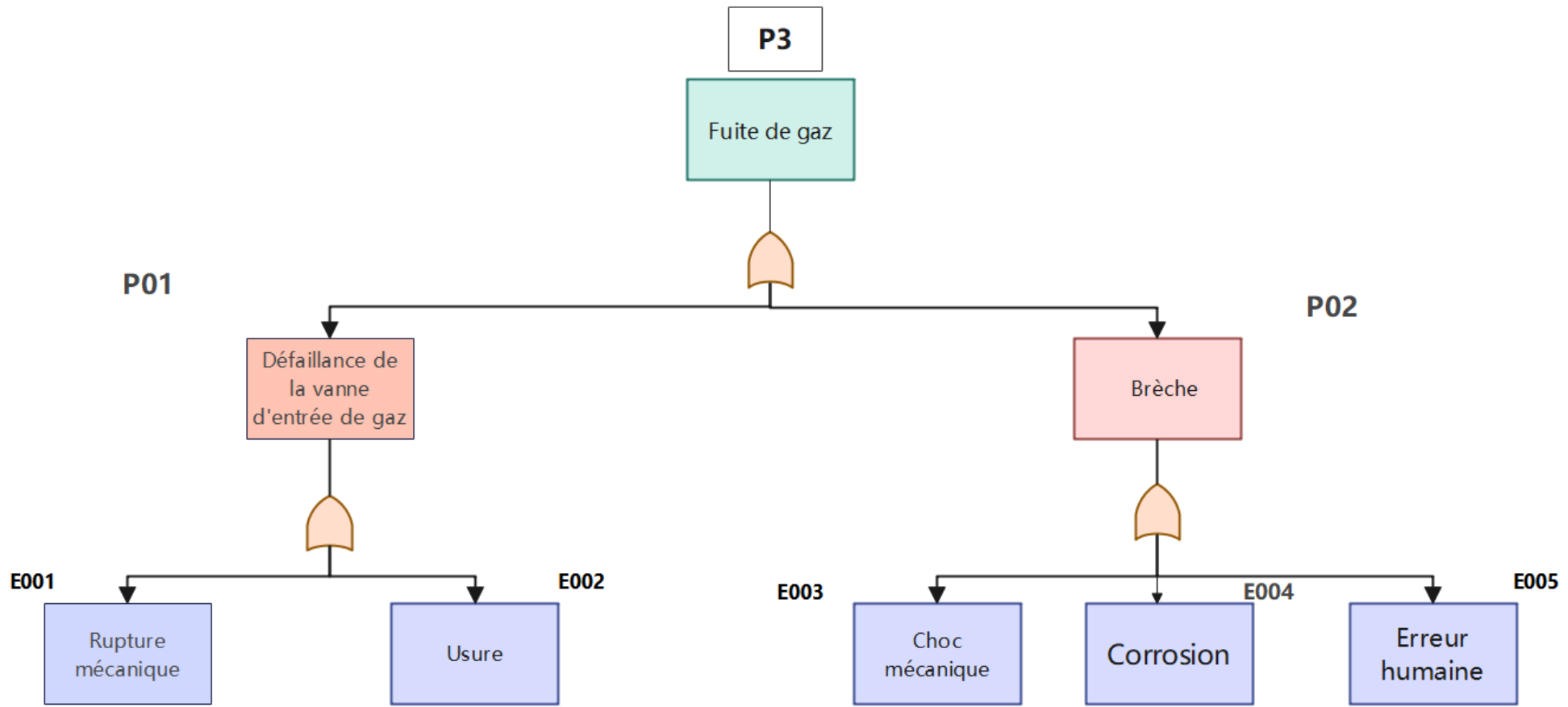


FIGURE 3.17 – Arbre de défaillance 3 pour ER3

- **Calcul de probabilité d'occurrence pour l'événement redouté 1 "Accumulation de gaz ou vapeur inflammable dans la chambre de combustion"**

Le codage de l'événement redouté fuite de gaz étant **P1** et ceux des événements de base de l'Add 1 de ce dernier figurent sur la table 3.10 ainsi que leurs probabilités de défaillance.

TABLE 3.10 – Données Add 1 pour ER 1

Codes	Causes	Probabilité
E001	Rupture mécanique de la vanne de gaz	10^{-2}
E002	Défaillance du système de commande	10^{-1}
E003	Rupture mécanique de l'électrode	9.210^{-5}
E004	Problèmes d'alimentation électrique	10^{-6}
E005	Défaillance du dispositif d'entrée d'air	10^{-1}
E006	Rupture mécanique du système de ventilation	10^{-1}
E02	Erreur humaine	10^{-2}
E05	Obstruction de la cheminé	310^{-2}

On a :

$$P1 = P01 + P02 + P03 \quad (3.1)$$

Tels que :

$$P01 = E01 + E02 \quad (3.2)$$

$$P02 = E03 + E04 \quad (3.3)$$

$$P03 = E05 + E06 \quad (3.4)$$

et

$$E01 = E001 + E002 \quad (3.5)$$

$$E03 = E003 + E004 \quad (3.6)$$

$$E04 = E01 + E005 \quad (3.7)$$

$$E06 = E006 + E002 \quad (3.8)$$

On remplace dans (3.1) et on obtient :

$$P1 = E01 + E02 + (E003 + E004) + E01 + E005 + E05 + (E006 + E002) \quad (3.9)$$

Avec la réduction : $E01+E01=E01$, $E01 = E001 + E002$ et $E002 + E002= E002$ on obtient :

$$P1 = E001 + E002 + E02 + E003 + E004 + E005 + E05 + E006 \quad (3.10)$$

Donc :

$$P1 = 3.5E - 1 \quad (3.11)$$

- **Calcul de probabilité d'occurrence pour l'événement redouté 2 "Surpression"**

Le codage de l'événement redouté fuite de gaz étant **P2** et ceux des événements de base de l'Add 2 de ce dernier figurent sur la table 3.11 ainsi que leurs probabilités de défaillance.

TABLE 3.11 – Données Add 2 pour ER 2

Codes	Causes	Probabilité
E001	Rupture mécanique de la vanne de gaz	10^{-2}
E002	Défaillance du système de commande	10^{-1}
E003	Rupture mécanique de la soupape de sécurité	10^{-2}
E004	Rupture mécanique du régulateur de pression	3.5210^{-5}
E005	Rupture mécanique de la vanne d'entrée de vapeur	6.210^{-2}
E006	Rupture mécanique de la vanne d'entrée d'eau	10^{-3}
E06	Défaillance de la cheminée	310^{-2}

On a :

$$P2 = P01 + P02 + P03 + P04 \quad (3.12)$$

Tels que :

$$P01 = E01 * E02 * E03 \quad (3.13)$$

$$P02 = E04 * E02 * E03 \quad (3.14)$$

$$P03 = E05 * E03 \quad (3.15)$$

$$P04 = E06 * E03 \quad (3.16)$$

et

$$E01 = E001 + E002 \quad (3.17)$$

$$E02 = E003 + E002 \quad (3.18)$$

$$E03 = E004 + E002 \quad (3.19)$$

$$E04 = E005 + E002 \quad (3.20)$$

$$E05 = E006 + E002 \quad (3.21)$$

On remplace dans (3.1) et on obtient :

$$P2 = (E01 * E02 * E03) + (E04 * E02 * E03) + (E05 * E03) + (E06 * E03) \quad (3.22)$$

$$P2 = ((E001 + E002) * (E003 + E002) * (E004 + E002)) + ((E005 + E002) * (E003 + E002) * (E004 + E002)) + ((E006 + E002) * (E004 + E002)) + (E06 * (E004 + E002)) \quad (3.23)$$

Simplification : On pose : E001=A , E002=B , E003=C , E004=D , E005=E et E006=F
Avec A+A=A , A.A=A et AB+B=B On obtient :

$$P2 = B + FD + E06.D + CD.(A + E) \quad (3.24)$$

$$P2 = 1.00E - 1 \quad (3.25)$$

- Calcul de probabilité d'occurrence pour l'événement redouté 3 "fuite de gaz"

Le codage de l'événement redouté fuite de gaz étant **P3** et ceux des événements de base de l'Add 3 de ce dernier figurent sur la table 3.12 ainsi que leurs probabilités de défaillance.

TABLE 3.12 – Données Add 3 pour ER 3

Codes	Causes	Probabilité
E001	Rupture mécanique	10^{-2}
E002	Usure	810^{-8}
E003	Choc mécanique	20.510^{-5}
E004	Corrosion	3.5210^{-5}
E005	Erreur humaine	10^{-2}

On a :

$$P3 = P01 + P02 \quad (3.26)$$

Tels que :

$$P01 = E001 + E002 \quad (3.27)$$

$$P02 = E003 + E004 + E005 \quad (3.28)$$

On remplace dans (3.1) et on obtient :

$$P3 = (E001 + E002) + (E003 + P004 + P005) \quad (3.29)$$

Donc :

$$P3 = 2E - 2 \quad (3.30)$$

3.3 Analyse approfondie sur le deuxième système critique Séparateur Centrifuge ALFA LAVAL

3.3.1 Présentation de Séparateur Centrifuge ALFA LAVAL

- **Définition de la séparation**

La séparation entre les liquides et les solides est couramment utilisée dans divers secteurs industriels. Elle est considérée comme une opération fondamentale et indispensable en raison de son rôle crucial dans la production. Notre étude se concentre spécifiquement sur la séparation de l'huile, qui est un exemple de cette opération.

- **Objectif de la séparation**

La séparation peut être réalisée dans le but suivant :

- Extraire les particules solides d'un liquide ;
- Séparer deux liquides non miscibles ayant des densités différentes, tout en extrayant simultanément les particules solides présentes dans ces liquides ;
- Séparer et concentrer les particules solides présentes dans un liquide.

- **Types de séparateurs**

- **Décanteurs centrifuges**

Les décanteurs centrifuges éliminent les grosses particules des boues ou des liquides à forte concentration de solides et séparent deux phases liquides de densités variables au moyen de la force centrifuge.

- **Séparateurs centrifuges à assiettes**

Les centrifugeuses à assiettes utilisent la force centrifuge pour séparer entre eux les liquides qui ont une plus faible concentration de solides ou séparer ceux qui ont des particules de taille relativement plus petite. Elles conviennent parfaitement à la séparation de deux phases liquides ainsi que d'une phase solide.

- **Description du séparateur ALFA LAVAL**

Alfa Laval est une entreprise suédoise spécialisée dans l'échange thermique, la séparation et le transfert de fluides.

Le séparateur Alfa Laval PX 90 est composé d'une partie traitement et d'une partie commande. L'entraînement se fait à l'aide d'un moteur électrique, le moteur est fixé avec des ergots sur le bâti comme indiqué sur l'illustration de la figure 3.18.

La partie inférieure du séparateur comprend le dispositif de commande horizontal, l'arbre moteur avec un accouplement flexible, une transmission à vis sans fin et un dispositif de commande vertical. L'arbre du bol est creux, et raccordé à sa partie inférieure à l'entrée de liquide .

La partie inférieure comprend également un bain d'huile pour la lubrification de l'engrenage. La partie supérieure du séparateur comprend les pièces du système qui assurent le traitement, le bol et le dispositif de sortie avec système Centrizoom.

Le liquide est séparé en deux phases dans le bol du séparateur, une phase légère et une phase lourde. Les sédiments les plus lourds sont également séparés du liquide. Le bol est fixé sur la partie supérieure de l'arbre vertical et tourne à grande vitesse. Il est également équipé d'un mécanisme de chasse qui permet d'évacuer les sédiments du bol.

Le module d'eau de manœuvre OWMC commande l'évacuation des boues du séparateur. Le module OWMC permet de régler les volumes de chasse.

La figure 3.18 représente le séparateur centrifuge utilisé dans l'unité de CEVITAL :

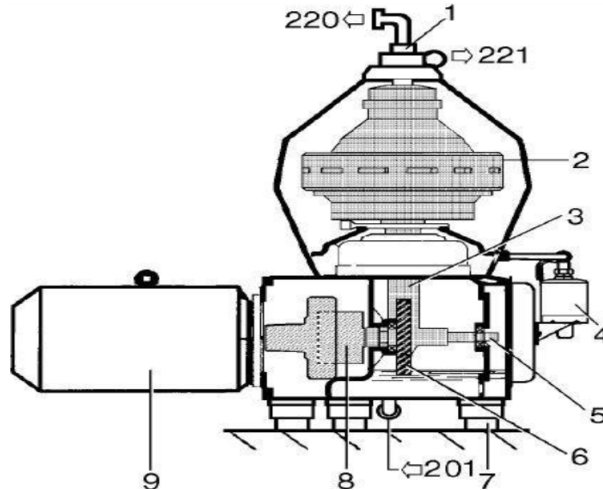


FIGURE 3.18 – Séparateur Alfa Laval PX90
[27]

- | | |
|---|---|
| 1- Dispositif de sortie avec système Centrizoom ; | 7-Pieds de fondation ; |
| 2- Bol ; | 8-Accouplement flexible ; |
| 3- Dispositif d'entraînement vertical et arbre du bol ; | 9- Moteur électrique ; |
| 4- Module d'eau de manœuvre (OWMC) ; | 10-Entrée de liquide à traiter ; |
| 5- Dispositif d'entraînement horizontal ; | 220-Sortie de phase légère du liquide ; |
| 6- Engrenage ; | 221-Sortie de phase lourde séparée. |

• **Données techniques du séparateur centrifuge**[27]

La TABLE 3.13 introduit les données technique du séparateur :

TABLE 3.13 – Données techniques du séparateur

Vitesse maximale autorisée	4300 tr/min
Fréquence électrique	60,7 Hz
Vitesse de l'arbre moteur	1830 tr/min
Capacité hydraulique	75 m ³ /h
Température d'alimentation min/max	0 / 100 °C
Puissance du moteur	50 /60 Hz, 37/42 KW
Volume du bol	66 litres
Diamètre interne max. du bol	644 mm
Niveau de vibration max.	7-9 mm/s
Poids du séparateur (sans moteur)	2250 Kg

- Composants et principe de fonctionnement du séparateur centrifuge ALFA LAVAL

- Partie supérieure

Les séparateurs centrifuges sont conçus pour isoler les composants d'un mélange liquide ou pour éliminer les particules solides contenues dans ces mélanges. À l'intérieur du bol du séparateur, des forces centrifuges conséquentes sont générées. La séparation de l'huile se fait dans la partie supérieure du séparateur. La figure 3.19 nous montre la partie supérieure de séparateur

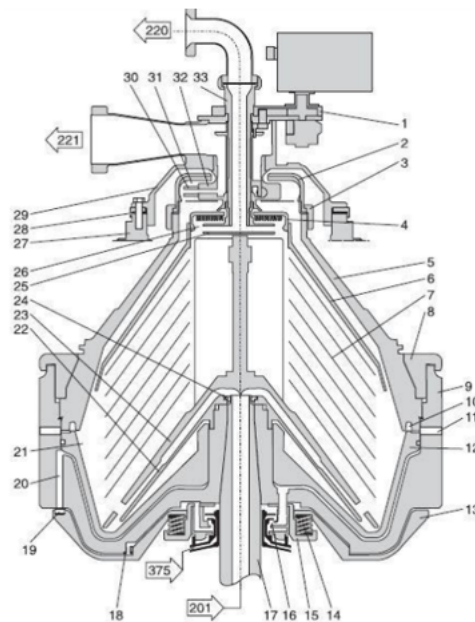


FIGURE 3.19 – Partie supérieure du séparateur
[27]

La table 3.14 représente les composants de la partie supérieure du séparateur :

TABLE 3.14 – Composants de la partie supérieure du séparateur

<p>1. Système de réglage (Centrizoom) 2. Couvercle supérieur de la chambre d'évacuation. 3. Petit anneau de serrage. 4. Couvercle inférieur de la chambre d'évacuation. 5. Chapeau du bol. 6. Disque supérieur. 7. Jeu de disques. 8. Grand anneau de serrage. 9. Corps du bol. 10. Anneau d'étanchéité du chapeau du bol. 11. Orifice de sortie des boues. 12. Fond mobile du bol. 13. Plateau coulissant. 14. Ressort. 15. Support des ressorts. 16. Turbine centrifète de manœuvre. 17. Arbre du bol (creux). 18. Embouchure. 19. Clapet. 20. Canal de vidange.</p>	<p>21. Chambre à boues. 22. Cône de distribution. 23. Distributeur. 24. Ecrou borgne. 25. Turbine centrifète pour sortie de phase légère du liquide. 26. Turbine centrifète pour phase légère du liquide. 27. Capot du bâti. 28. Bague(s) de réglage de la hauteur. 29. Boîtier de sortie. 30. Tube d'évacuation réglable pour sortie de phase lourde du liquide (Centrizoom). 31. Chambre d'évacuation par turbinage pour phase lourde du liquide. 32. Support du tube de distribution. 33. Tuyau de sortie. 201. Entrée de liquide non séparé. 220. Sortie de la phase légère du liquide séparé. 221. Sortie de phase lourde du liquide séparé. 375. Entrée de liquide de chasse et d'appoint.</p>
---	--

La détermination des ces composants va nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement du séparateur afin de faire une analyse de risque efficace.

- **Partie Inférieure**

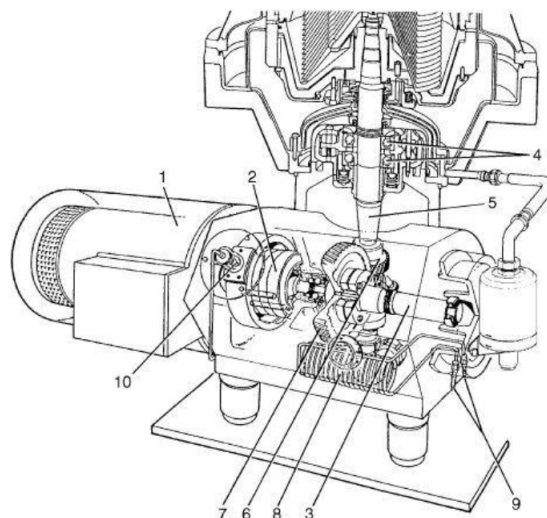


FIGURE 3.20 – Partie Inférieure du séparateur

[27]

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1- Moteur électrique ; | 7-Vis sans fin ; |
| 2- Accouplement ; | 8-Roue hélicoïdale ; |
| 3- Arbre de la roue hélicoïdale ; | 9- Serpentine de refroidissement ; |
| 4- Roulement supérieur ; | 10-Entrée et sortie d'eau de refroidissement ; |
| 5- Arbre du bol ; | 220-Frein. |

Afin de minimiser l'usure des roulements et de limiter la transmission des vibrations du bol au châssis et au système d'ancrage, le roulement supérieur (4) de l'arbre du bol (5) est installé sur un logement de roulement qui est équipé d'un amortisseur en caoutchouc. La roue hélicoïdale est immergée dans un bain d'huile lubrifiante. Les roulements de l'arbre et de la roue hélicoïdale (3) sont lubrifiés par un brouillard d'huile, qui est créé par la rotation de la roue hélicoïdale.. Le bain d'huile du carter d'engrenage est refroidi par un serpent, afin de maintenir une température optimale pour le fonctionnement du mécanisme.

- Détecteurs et témoins lumineux du séparateur

Le séparateur est pourvu de plusieurs détecteurs permettant de contrôler différents paramètres liés à la séparation et à la sécurité. Ces détecteurs sont illustrés dans la figure 3.21 :

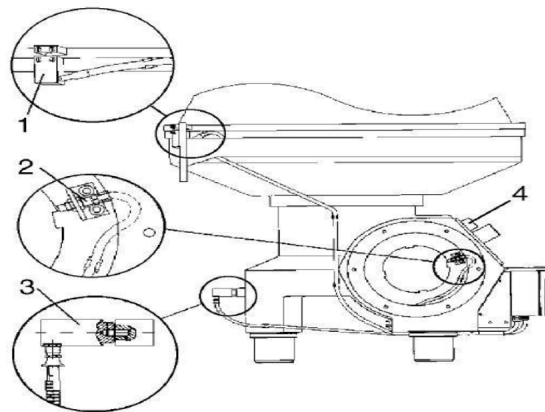


FIGURE 3.21 – Schéma des différents capteurs
[27]

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1- Interrupteur d'interverrouillage du couvercle ; | 2-Détecteur de vitesse ; |
| 3- Détecteur de vibration ; | 4-Détecteur de température. |

- Les principaux éléments de commande et de manœuvre

a- Dispositif d'entrée

L'entrée du produit (201) se situe au bas du séparateur. Le produit est acheminé vers le centre du bol grâce à l'arbre creux du bol (17). L'arbre du bol en rotation et la pièce d'entrée (35), qui reste immobile, sont reliés par une garniture mécanique (34). Cette garniture se compose principalement de bagues d'usure rotatives et d'anneaux d'étanchéité fixes. Pour réduire les frottements entre les bagues et les anneaux, il est essentiel que ces derniers soient toujours en contact avec le liquide lorsque le bol tourne. L'étanchéité est ainsi garantie grâce à l'utilisation d'un liquide de maintien d'étanchéité (raccords 615 et 616). La figure 3.22 illustre le dispositif d'entrée d'huile brut.

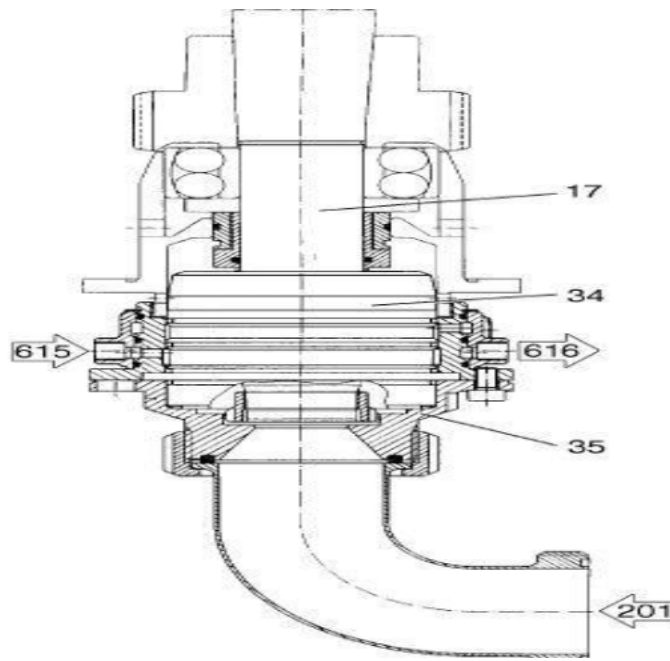


FIGURE 3.22 – Dispositif d'entrée d'huile brute
[27]

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 17- Arbre du bol (creux) ; | 34-Garniture mécanique ; |
| 35- Boîtier d'entrée ; | 201-Entrée du produit ; |
| 615- Entrée du liquide d'étanchéité ; | 616-Sortie du liquide d'étanchéité. |

Les séparateurs équipés d'un système de rinçage du bol ont une connexion commune, désignée par le numéro (615), avec la connexion (204), et de sortie distincte (connexion 616). L'eau de rinçage du bol est introduite dans celui-ci entre le cône de distribution et le plateau coulissant situé au fond. L'eau se mélange avec la phase lourde du liquide, ce qui améliore son homogénéité et augmente l'efficacité du processus de séparation.

b- Dispositif de sortie

Le dispositif de sortie du séparateur comprend les éléments suivants :

- Sortie de la phase lourde (221) : Cette sortie est équipée du système Centrizoom, qui comprend la pièce de réglage (1) et trois tubes de distribution de réglage (30) situé dans la chambre de turbinage supérieure (31). Les tubes sont reliés au support (32), qui permet d'ajuster le rayon des tubes de distribution à l'aide de la pièce de réglage pendant le fonctionnement.
- Sortie de la phase légère (220) : Cette sortie est constituée de la turbine centripète (25) installée dans la chambre de turbinage inférieure (26), située dans la partie supérieure du bol.

La figure 3.23 nous montre la turbine centripète

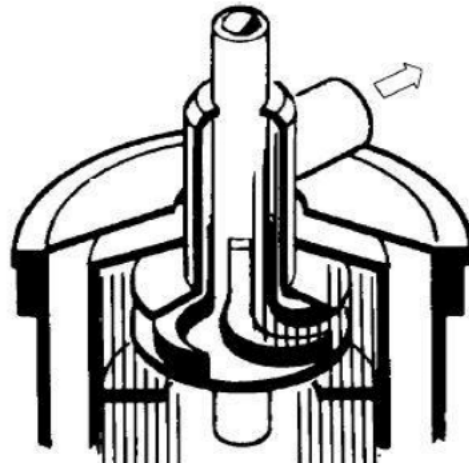


FIGURE 3.23 – Turbine centripète (pompe d'évacuation) pour la phase légère du liquide
[27]

c- Bol du séparateur

Le bol d'un séparateur centrifuge est un composant essentiel de l'équipement. C'est une pièce cylindrique qui tourne à grande vitesse pour créer une force centrifuge. Cette force est utilisée pour séparer les différents composants d'un mélange en fonction de leur densité.

d- Chasse des boues

Le mécanisme de chasse des boues contrôle le mouvement du fond mobile du bol.

e- Module d'eau de manœuvre compact (OWMC)

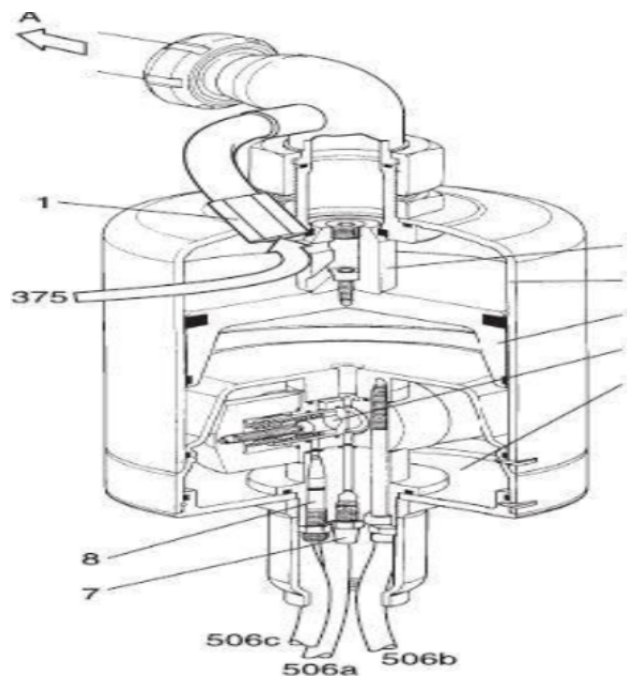


FIGURE 3.24 – Schéma d'eau de manœuvre
[27]

1- Clapet de non-retour ;

7-Silencieux ;

- 2- Adaptateur à deux positions ;
- 3- Cylindre à eau ;
- 4- Piston ;
- 5- Distributeur ;
- 6- Réservoir d'air ;
- 8-Soupape à pointeau ;
- 506a-Alimentation en air du réservoir d'air ;
- 506b-Air de signal de petite chasse ;
- 506c-Air de signal de grande chasse.
- A- La sortie de liquide de chasse et s'appoint de l'OWMC vers le bol ;

375- Entrée de liquide de décharge et d'appoint de l'OWMC.

Une analyse SADT suivie d'une analyse fonctionnelle supplémentaire ont été faites pour le séparateur afin de déterminer les composants de ce dernier. Le détail de deux analyses est montré dans la figure 3.25 et l'annexe 6.

3.3.2 Analyse des modes de défaillance leurs effets et leurs criticités (AMDEC)

Cette méthode est appliquée pour le séparateur centrifuge pour identifier les effets suite aux défaillances de ses composants éventuels liés à ce système en vue de les maîtriser. Afin d'appliquer cette méthode nous avons effectué en premier lieu une décomposition du système.

-Décomposition fonctionnelle

Nous avons procédé à une décomposition fonctionnelle du séparateur centrifuge ALFA LAVAL avec la méthode diagramme FAST (Function Analysis System Technic) selon ses différentes fonctions, cette analyse complète et résume l'analyse SADT faite pour le séparateur qui est illustrée à l'annexe 7.

Nous avons divisé le séparateur en 4 sous systèmes et chacun de ces derniers a une fonction spécifique et pour chaque fonction on a déterminé les composants qu'elle contient comme illustré dans la figure 3.25.

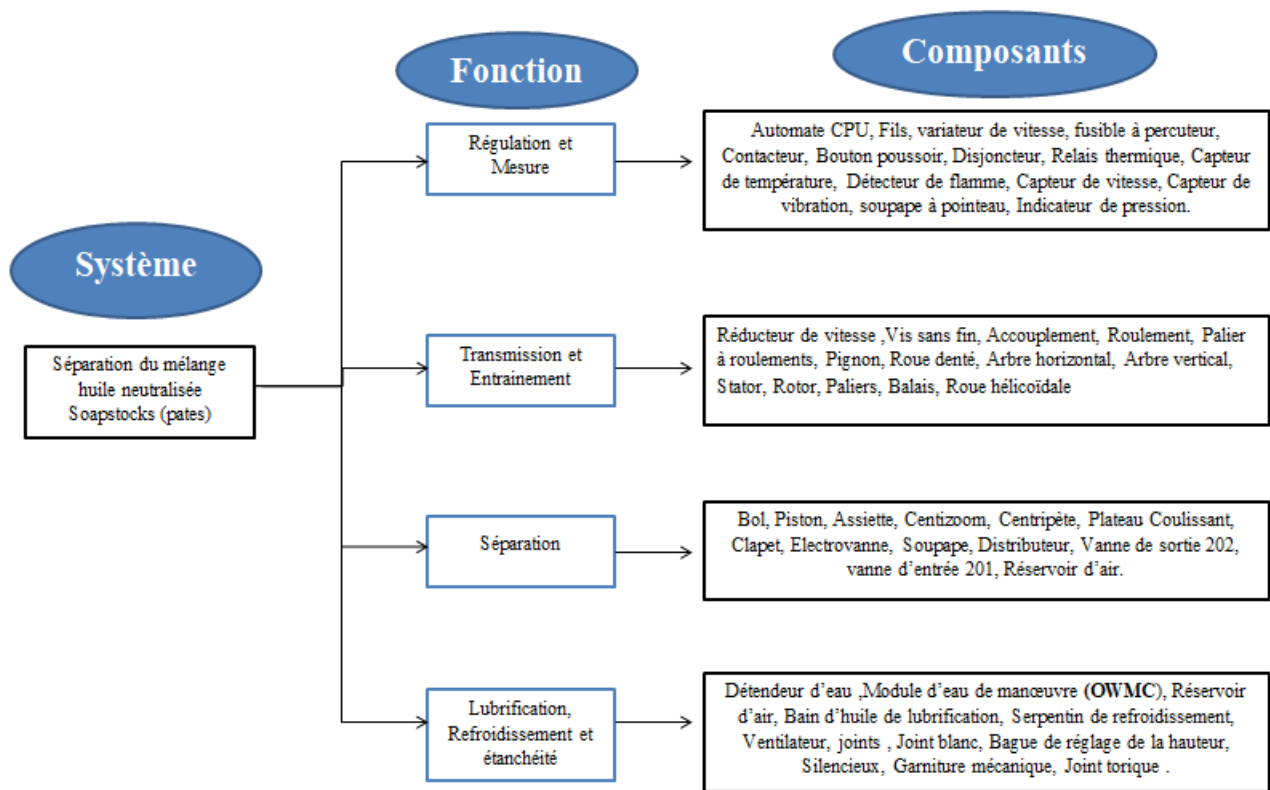


FIGURE 3.25 – Diagramme FAST Séparateur centrifuge ALFA LAVAL

3.2.1.1 Critères d'évaluation

Pour évaluer la criticité des différents modes de défaillance, nous avons fait appel à des grilles d'évaluation.

Ces grilles illustrées dans Table 3.15 et Table 3.16 nous ont permis d'estimer les probabilités d'occurrence, la gravité et la capacité de détection de chaque défaillance. Elles ont été approuvées par le responsable HSE de CEVITAL ainsi que par l'équipe pédagogique de l'ENP. Toutes ces grilles sont regroupées dans les tableaux

TABLE 3.15 – Grille de cotation des critères fréquence, gravité et non détection

COTATION	1	2	3	4
Fréquence	Taux d'apparition très faible : moins d'une défaillance par an	Taux d'apparition faible : $3\text{mois} < F < 6\text{mois}$	Taux d'apparition moyen : $1\text{sem} < F < 3\text{mois}$	Taux d'apparition important : Plusieurs défaillances par semaine
Gravité	Durée mineure : aucune dégradation notable du matériel, durée d'intervention $< 10\text{min}$	Durée moyenne, nécessite une remise en état de courte durée $10\text{min} < t < 30\text{min}$	Durée majeure nécessite une intervention de longue durée $30\text{min} < t < 90\text{min}$	Durée catastrophique très critique nécessite une grande intervention $t > 90\text{min}$
Détection	Évidente : défaillance précocement détectable	Possible : il existe un signe avant-coureur de la défaillance	Importante défaillance difficilement détectable	Impossible défaillance indétectable

TABLE 3.16 – Echelle de criticité

Niveau de Criticité	Criticité	Action à engager
$1 \leq C < 12$	Négligeable	-Aucune modification de conception ; -Maintenance corrective ;
$12 \leq C < 24$	Criticité moyenne	-Amélioration des performances de l'élément ; -Maintenance préventive systématique ;
$24 \leq C < 48$	Criticité élevée	-Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments ; -Surveillance particulière ; -Maintenance préventive conditionnelle/préventionnelle
$48 \leq C < 64$	Criticité Interdite	-Remise en cause complète de la conception

3.2.1.2 Résultat de l'AMDEC

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode AMDEC pour le système critique, à savoir le séparateur centrifuge, tel qu'identifié dans l'APR. L'objectif principal était de déterminer les modes de défaillance des équipements susceptibles de contribuer à l'apparition des événements indésirables (surchauffe et perte de confinement).

La table 3.17 présente le pourcentage de chaque niveau de risque présent dans le séparateur centrifuge, tandis que la table 3.18 indique la répartition des défaillances probables de chaque sous-système selon leur niveau de criticité. Les résultats détaillés de l'AMDEC se trouvent dans l'Annexe 8.

TABLE 3.17 – Répartition des Défaillances probables selon leur Niveau de criticité

Criticité	$1 \leq C < 12$ Criticité négligeable	$12 \leq C < 24$ Criticité moyenne	$24 \leq C < 48$ Criticité élevée	$48 \leq C < 64$ Criticité interdite	Total
Nombre de Défaillances	27	19	8	0	54
Pourcentage %	50	35,19	14,81	0,00	100

La figure 3.23 représente le résultat obtenu :

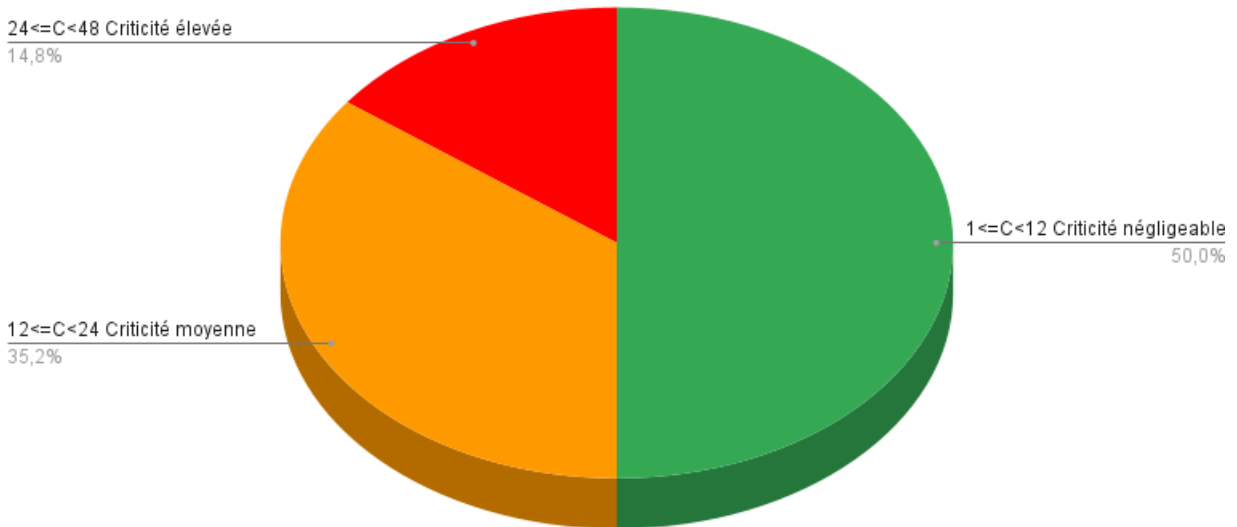


FIGURE 3.26 – Répartition des défaillances probables selon leur niveau de criticité

TABLE 3.18 – Répartition des défaillances probables de chaque sous-système selon leur niveau de criticité.

Criticité des Risques Système	$1 \leq C < 12$ Criticité négligeable	$12 \leq C < 24$ Criticité moyenne	$24 \leq C < 48$ Criticité élevée	$48 \leq C < 64$ Criticité Interdite
Mesures et régulation	15	4	1	0
Transmission et entraînement	5	6	1	0
Séparation	2	7	3	0
Lubrification et refroidissement étanchéité	5	2	3	0

La figure 3.27 représente la répartition des défaillances de chaque sous-système selon leur Niveau de Criticité.

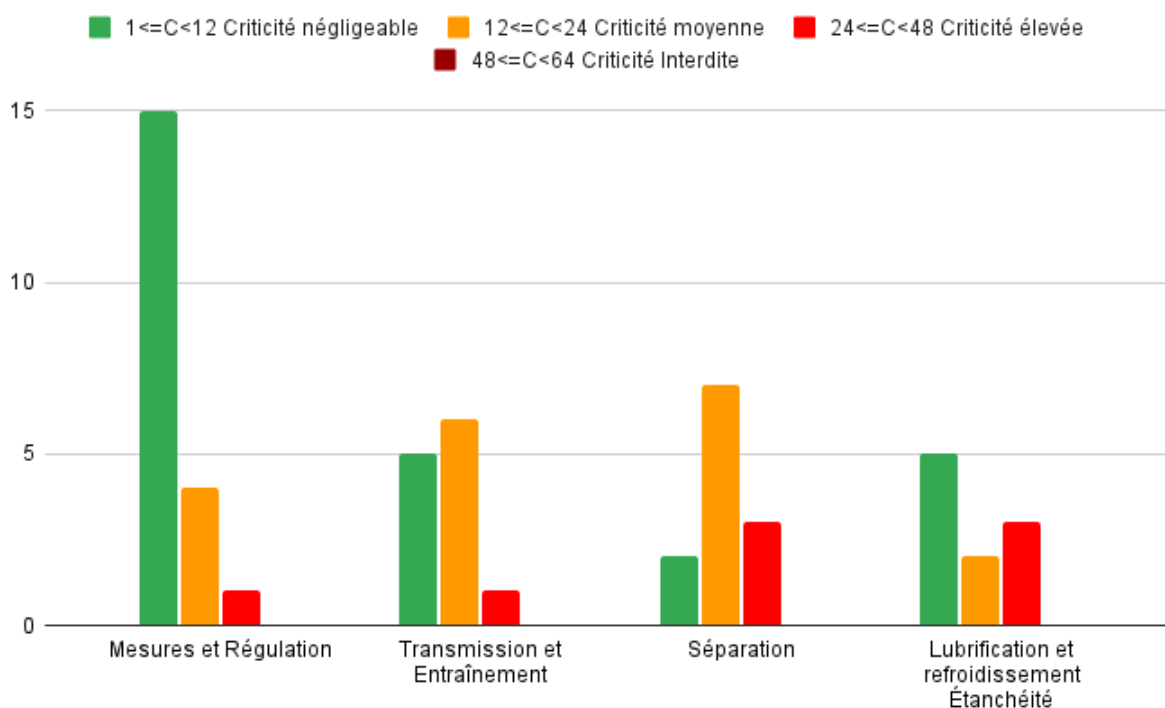


FIGURE 3.27 – Répartition des Défaillances probables de chaque sous-système selon leur Niveau de Criticité.

-Interprétation des résultats

Nous remarquons que la plus grande proportion des risques estimés, qui représentent **50,00%**, sont acceptables et de criticité négligeable. Ceci est dû notamment aux mesures de prévention mises en place, plus particulièrement, les équipements de détection automatisés (détecteurs, automate, Indicateurs. . .), pour permettre de maîtriser certaines situations à risques.

Les **35,19%** des risques de criticité moyenne feront l'objet des mesures de prévention et de correction afin de les réduire.

Pour les risques inacceptables de criticité élevée qui représentent **14,81 %**, nécessité la mise en œuvre d'actions correctives pour la réduction du niveau de risque encourus.

Cette analyse n'a révélé **aucun risque majeur de criticité interdite**, une réalité qui découle de l'engagement de l'entreprise à opter pour des équipements de qualité supérieure.

- Pour le sous-système (**Régulation et Mesures**) la plupart des ses composants ont un niveau de **criticité acceptable** et ils nécessitent juste d'être remplacé régulièrement en respectant la durée de vie de l'équipement, sauf le variateur de vitesse, le système de régulation (Automate CPU) ainsi que le détecteur de flamme qui nécessitent un réglage régulier et **une maintenance préventive systématique**.
- Concernant la fonction (**Transmission et Entraînement**) la moitié de ses composants sont contrôlés et ont un niveau de criticité acceptable. En outre, le reste des composants nécessitent une surveillance et contrôle régulier ainsi qu'une meilleure lubrification pour éviter tout type de défaillance.
- Pour le sous-système (**Séparation**) la plupart des composants nécessitent une vérification de lubrification, maintenance préventive systématique.
- Pour le sous-système (**lubrification, refroidissement et étanchéité**) présente plusieurs risques de criticité élevée, cela indique qu'il faut renforcer la maintenance préventive systématique et conditionnelle dans ce sous-système.

Les composants qui peuvent provoquer d'une façon directe une surchauffe ou une perte de confinement suite à une défaillance, sont : le détendeur d'eau, Garniture mécanique, Joints, Soupape, Centripète, et Électrovanne, Automate CPU.

Les causes de défaillance principales qui peuvent provoquer un surchauffe ou une perte de confinement selon notre analyse AMDEC sont :

- **Court-circuit ;**
- **Usure contact ;**
- **Corrosion ;**
- **Erreurs de programmation ;**
- **Erreurs Humaines ;**
- **Déviations des paramètres (défaillance du système de réglage) ;**
- **Vieillessement et usure ;**
- **Déviations des paramètres (défaillance de système de réglage) ;**

- **Défaut de maintenance ;**
- **Défaillance de systèmes de lubrification (manque ou mauvaise lubrification) ;**
- **surpression ;**
- **Surcharge.**

Ces causes potentielles vont être utilisées pour l'élaboration des ADD pour les événement redoutés (Perte de confinement et Surchauffe).

En conclusion, l'analyse AMDEC sur le séparateur centrifuge a permis d'identifier plusieurs causes potentielles de défaillance de ses composants. Pour garantir un fonctionnement fiable et prévenir et réduire le nombre des pannes, il est essentiel de mettre en place des mesures préventives appropriées, tel qu'un plan de maintenance préventive et un plan d'inspection pour l'équipement que nous allons détailler dans le chapitre 5.

3.3.3 Arbres de défaillance

Nous employons les causes de défaillance que nous avons identifiés grâce à l'AMDEC pour construire l'arbre de défaillance pour chaque événement redouté sélectionné qui présente une criticité élevée :

Les évènements redouté auxquels nous développons un arbre de défaillance sont :

- **Surchauffe ;**
- **Perte de confinement.**

Les combinaisons de causes potentielles pour chaque événement redouté sont illustrées dans les arbres de défaillance, comme le montrent les figures 3.28 et 3.29 :

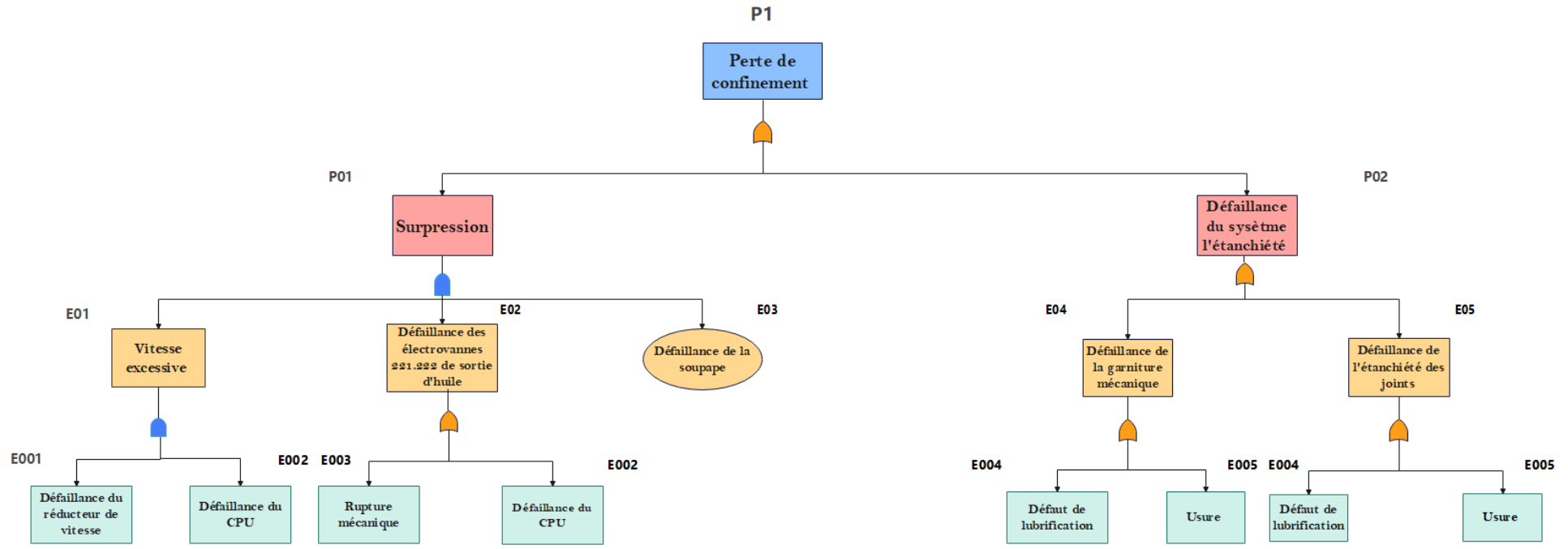


FIGURE 3.28 – Arbre de défaillance 1 pour ER1

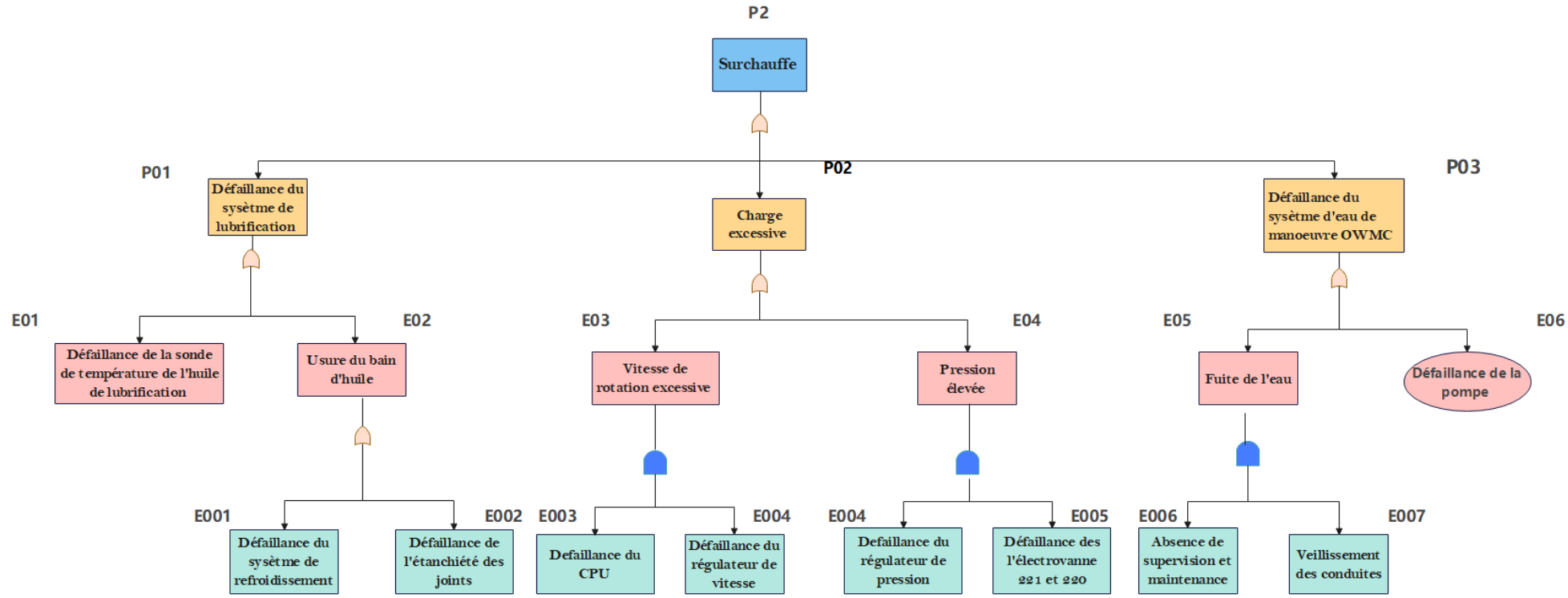


FIGURE 3.29 – Arbre de défaillance 2 pour ER2

- Calcul de probabilité d'occurrence pour l'événement redouté 1 "Perte de confinement"

Le codage de l'événement redouté perte de confinement étant **P1** et ceux des événements de base de l'Add 1 de ce dernier figurent sur la table 3.19 ainsi que leurs probabilités de défaillance.

TABLE 3.19 – Données Add 1 pour ER 1

Codes	Causes	Probabilité
E001	Défaillance du réducteur de vitesse	10^{-1}
E002	Défaillance du CPU	10^{-1}
E003	Rupture mécanique de l'électrovanne	10^{-1}
E004	Défaut de lubrification	10^{-2}
E005	Usure	$8.0 \cdot 10^{-8}$
E03	Défaillance de la soupape	10^{-2}

On a :

$$P1 = P01 + P02 \quad (3.31)$$

Tels que :

$$P01 = E01 * E02 * E03 \quad (3.32)$$

$$P02 = E04 + E05 \quad (3.33)$$

et

$$E01 = E001 * E002 \quad (3.34)$$

$$E03 = E003 + E002 \quad (3.35)$$

$$E04 = E004 + E005 \quad (3.36)$$

$$E06 = E004 + E005 \quad (3.37)$$

On remplace dans (3.31) et on obtient :

$$P1 = ((E001 * E002) * (E003 + E002) * E03) + (E004 + E005) + (E004 + E005) \quad (3.38)$$

Avec la réduction :

$$P1 = (E002 * E03) + E004 + E005 \quad (3.39)$$

Donc :

$$P1 = 1.00E - 2 \quad (3.40)$$

- Calcul de probabilité d'occurrence pour l'événement redouté 2 "Surchauffe"

Le codage de l'événement redouté perte de confinement étant **P2** et ceux des événements de base de l'Add 2 de ce dernier figurent sur la table 3.20 ainsi que leurs probabilités de défaillance.

TABLE 3.20 – Données Add 2 pour ER 2

Codes	Causes	Probabilité
E001	Défaillance du système de refroidissement	10^{-1}
E002	Défaillance de l'étanchéité des joints	$8.0 \cdot 10^{-8}$
E003	Défaillance du CPU	10^{-1}
E004	Défaillance du régulateur de vitesse	10^{-1}
E005	Défaillance des électrovannes 221 et 220	$1.1 \cdot 10^{-1}$
E006	Absence de supervision et maintenance	10^{-3}
E007	Veilleissement des conduites	10^{-1}
E01	Défaillance de la sonde de température de l'huile de lubrification	$9.2 \cdot 10^{-5}$
E06	Défaillance de la pompe	$4 \cdot 10^{-3}$

On a :

$$P2 = P01 + P02 + P03 \quad (3.41)$$

Tels que :

$$P01 = E01 + E02 \quad (3.42)$$

$$P02 = E03 + E04 \quad (3.43)$$

$$P03 = E05 + E06 \quad (3.44)$$

et

$$E02 = E001 + E002 \quad (3.45)$$

$$E03 = E003 * E004 \quad (3.46)$$

$$E04 = E004 + E005 \quad (3.47)$$

$$E05 = E006 + E007 \quad (3.48)$$

On remplace dans (3.31) et on obtient :

$$P2 = E01 + (E001 + E002) + (E003 * E004) + (E004 + E005) + (E006 + E007) + E06 \quad (3.49)$$

Donc :

$$P2 = 1.20E - 1 \quad (3.50)$$

Chapitre 4

Evaluation de la fiabilité des barrières de protection par la méthode LOPA

Dans ce chapitre, nous allons évaluer la fiabilité des différentes couches de protection des sous-systèmes critiques identifiés à partir de l'APR et analysé à l'aide des méthodes HAZOP ,AMDEC et ADD. Cette évaluation nous permettra de compléter notre étude en proposant des mesures correctives adéquates. Pour ce faire, nous allons appliquer la méthode LOPA .

En utilisant la méthode LOPA, nous examinerons chaque couche de protection individuellement et évaluerons sa performance en termes de sécurité. Cela nous permettra de déterminer si les couches de protection actuelles sont adéquates ou si des mesures correctives supplémentaires sont nécessaires pour renforcer la sécurité des sous-systèmes critiques.

4.1 Application de LOPA sur le premier système critique chaudière à vapeur

Au cours de notre application des méthodes d'analyse des risques à savoir l'APR, HAZOP et ADD, nous avons identifié des barrières de sécurité. Grâce à la méthode LOPA, nous avons été en mesure de valoriser toutes les couches de protection (barrières techniques et organisationnelles) et de les évaluer pour déterminer si elles sont suffisantes pour assurer un niveau de risque résiduel acceptable ou au minimum tolérable. En effet, sur la base de ces résultats, nous avons proposé des mesures correctives.

4.1.1 Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer

Dans notre situation, l'évaluation de l'acceptabilité et la sélection des scénarios d'accident seront effectuées en utilisant la matrice de criticité adoptée par CEVITAL, comme illustré dans la figure 4.1.

		Conséquences				Probabilité			
						Augmentation de probabilité			
		Gravité	Personnel	Environnement	Public	Biens	P1 Improbable F<E-4 Jamis rencontré mais physiquement possible	P2 Peu probable E-4 < F<E-2 (an) rencontré dans une organisation similaire à CEVITAL	P3 Probable E-2 < F< E-1 (an) S'est produit (Pourrait se produire) au sein de CEVITAL
Augmentation de gravité	G1 Mineur	Blessures mineures	Mineures	Pas d'incidence	Pas de dommages pas d'arrêt de production				
	G2 Sérieux	Blessures significatives	Pollution interne maîtrisée	Blessures mineures	Dommmages mineures + arrêt bref de production				
	G3 Grave	Incapacité permanente ou décès	Pollution interne non maîtrisée ou pollution hors limite maîtrisée	Blessures significatives	Dommmage localisé + arrêt partiel de production				
	G4 Catastrophique	Plusieurs décès	Pollution hors limite de long durée	Décès	Dommmages importants + arrêt total de production				

FIGURE 4.1 – Grille de criticité adoptée par CEVITAL

Dans ce qui suit, nous utiliserons la grille de criticité pour évaluer la gravité de chaque conséquence associée aux scénarios identifiés lors des analyses APR et HAZOP précédentes. Notre objectif sera de sélectionner les scénarios présentant une gravité de niveau catastrophique.

Ensuite, nous estimerons la probabilité d'occurrence de ces scénarios en tenant compte des couches de protection existantes dans la raffinerie.

Enfin, nous pourrions tirer une conclusion sur l'acceptabilité des risques présents dans le système étudié et évaluer la fiabilité des barrières de sécurité existantes.

4.1.2 Développement des scénarios d'accidents à évaluer et estimation des conséquences selon les critères d'acceptabilité (grille de criticité)

En se basant sur l'analyse APR et l'étude HAZOP précédemment réalisées, nous avons identifié les scénarios d'accidents majeurs associés à la chaudière à vapeur, ainsi que les conséquences et la gravité de leurs effets. La Table 4.1 présente de manière détaillée les différents scénarios d'accidents potentiels liés à la chaudière à vapeur.

TABLE 4.1 – Scénarios d'accidents potentiels possibles pour une chaudière à vapeur

Scénarios N°	Description	Effets	Niveau de Gravité
Scénario 01	Explosion de la chaudière suite à une accumulation de gaz ou vapeur inflammable dans la chambre de combustion.	-Pertes humaines (décès); -Dommages matériels; -Arrêt total de la production.	G4 Catastrophique
Scénario 02	Explosion de la chaudière suite à une surpression causée par une haute pression de vapeur, gaz, eau ou fumée	-Pertes Humaines (décès); -Dommages matériels; -Arrêt total de la production.	G4 Catastrophique
Scénario 03	Explosion suite à une fuite de gaz à l'extérieur de la chaudière	-Pertes Humaines (décès); -Dommages matériels; -Arrêt total de la production.	G4 Catastrophique
Scénario 04	Incendie suite à une surchauffe due à une diminution de niveau d'eau dans la chaudière	-Dommages matériels localisé; -Arrêt partiel de la production.	G3 Grave
Scénario 05	Dégagement de gaz suite à une surpression	-Pas d'incidence; -Pollution mineur de l'environnement.	G2 Sérieux

Les conséquences évaluées précédemment varient en termes de gravité, allant de mineurs à catastrophiques. Cependant, dans le cadre de notre étude et conformément à la méthode LOPA, nous nous concentrons uniquement sur les conséquences classées dans la **catégorie 4**, c'est-à-dire celles qui sont considérées comme des conséquences catastrophiques.

4.1.3 Sélection des scénarios à évaluer

Sur la base de l'étape précédente et la matrice de criticité, les scénarios à évaluer par la méthode LOPA sont illustrés dans la Table 4.2 ci-dessous. Dans cette étape nous allons recensé pour chaque scénario, son événement redouté, ses événements initiateurs ainsi les conséquences de l'apparition de ce scénario.

TABLE 4.2 – Scénarios à évaluer

Scénario	Causes	Conséquences
Accumulation de gaz ou vapeur inflammable dans la chambre de combustion	Présence de gaz dans la chaudière en phase d'arrêt	Explosion de la chaudière
	Perte de flamme en fonctionnement	
	Défaillance du système d'évacuation de fumée	
Surpression	Haute pression dans le circuit de gaz naturel	Explosion de la chaudière
	Haute pression dans le circuit de vapeur	
	Haute pression dans le circuit d'eau	
	Haute pression dans le circuit de fumée	
Fuite externe de gaz	Défaillance de la vanne d'entrée de gaz	Explosion de la chaudière
	Rupture de la conduite	

4.1.4 Détermination des événements initiateurs et de leurs fréquences

D'après les arbres d'événements (ADD 1, ADD 2 et ADD 3) ainsi que les calculs des probabilités d'occurrence des événements redoutés, nous avons calculé la fréquence ou probabilité d'occurrence de chaque événement initiateur, le résultat de ces calculs est illustré dans la Table 4.3.

TABLE 4.3 – probabilité d'occurrence des événements initiateurs

N°	Événement initiateur	Fréquence
1	Présence de gaz dans la chaudière en phase d'arrêt.	1.2E-1
2	Perte de flamme en fonctionnement.	2.2E-1
3	Défaillance du système d'évacuation de fumée.	2.3E-1
4	Haute pression dans le circuit de gaz naturel.	1.6E-3
5	Haute pression dans le circuit de vapeur	1.8E-3
6	Haute pression dans le circuit d'eau	1.01E-2
7	Haute pression dans le circuit de fumée	3.0E-3
8	Défaillance de la vanne d'entrée de gaz	1.0E-2
9	Brèche dans la conduite de gaz	1.02E-2

En quantifiant les fréquences d'apparition des événements initiateurs de chaque scénario d'accident, nous permet par la suite de passer à l'élaboration des arbres d'événements pour chaque événement initiateur qui va engendrer un accident majeur en cas de défaillance des barrières de protection. Ces arbres vont nous permettre de calculer la fréquence d'apparition de chaque scénario ainsi que leurs conséquences.

4.1.5 Identification des couches de protection indépendantes

Dans cette étape nous allons identifier toutes les couches de protection existantes, à savoir les barrières de protection et de prévention identifiées dans l'étude HAZOP précédente ainsi que leur probabilité de défaillance à la demande (PFD) recueillies de la base de données OREDA, la Table 4.4 nous donne le résultat de cette identification.

TABLE 4.4 – Couches de protection

Type de couche	barrière	Probabilité de défaillance
Couches de prévention	Alarme	1.45E-1
	Pressostat	8.76E-7
	Détecteur de gaz	5.00E-2
	Détecteur de flamme	5.00E-2
Couches de protection et mitigation	Soupape de sécurité	1.0E-2
	Système d'arrêt d'urgence	7.9E-6
	Vanne de purge de gaz	1.00E-2
	Vanne extérieur de sécurité	1.00E-3

4.1.6 Détermination des fréquences des scénarios d'accidents

La détermination des fréquences des scénarios d'accidents à l'aide des Ade implique une évaluation approfondie des différents événements qui peuvent contribuer à l'occurrence d'un accident. Nous allons établir pour chaque Ei un Ade. Les figure 4.2, 4.3 et 4.4 représentent les ade du scénario 1 des trois premiers Ei.

-Arbre des événements pour le scénario N°1 pour la chaudière à vapeur

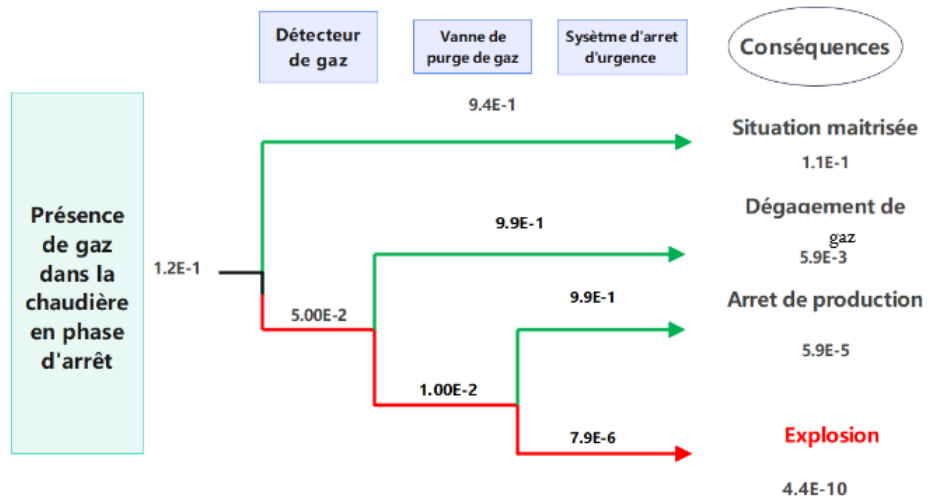


FIGURE 4.2 – Ade 1 pour Ei N°1 pour la chaudière à vapeur

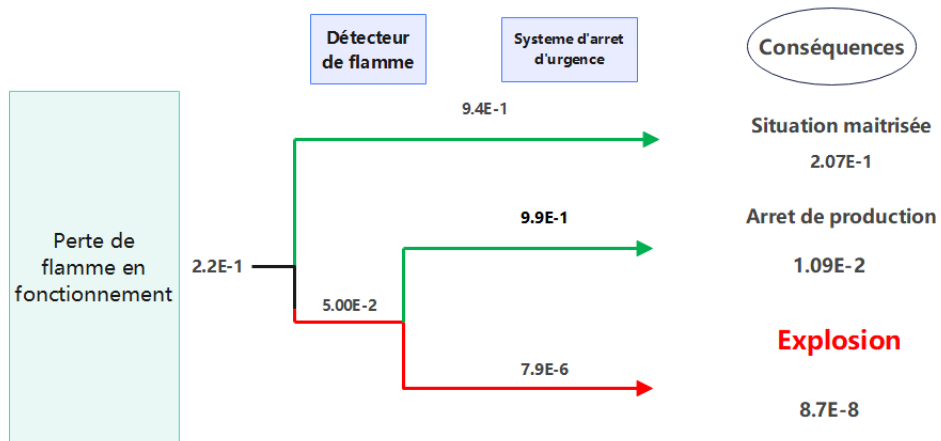


FIGURE 4.3 – Ade 2 pour Ei N°2 pour la chaudière à vapeur

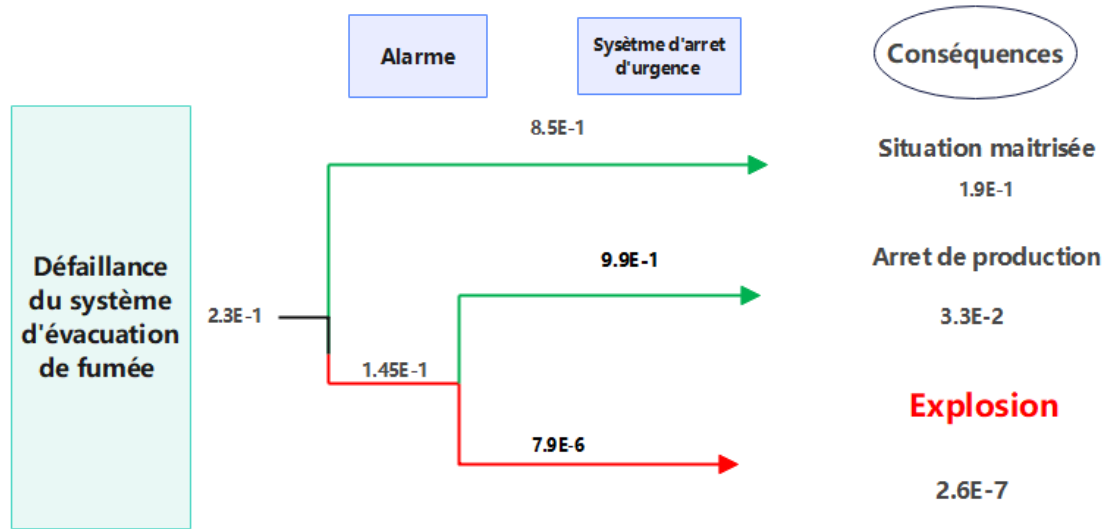


FIGURE 4.4 – Ade 3 pour Ei N°3 pour la chaudière à vapeur

-Arbre des événements pour le scénario N°2 pour la chaudière à vapeur

Les figure 4.5, 4.6 , 4.7 et 4.8 représentent les ade du scénario 2 des quatre second Ei.

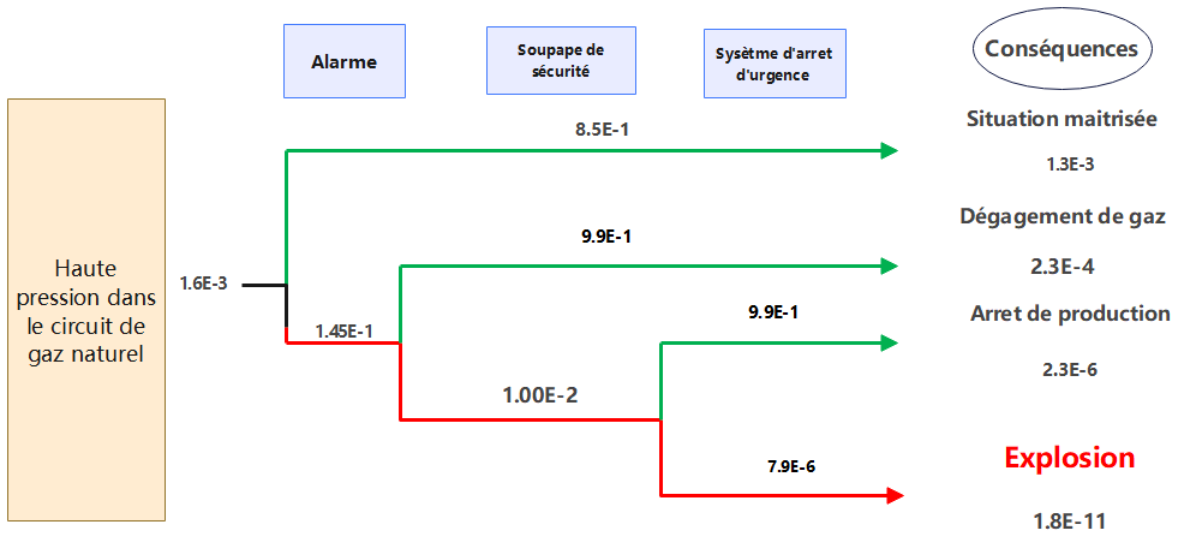


FIGURE 4.5 – Ade 4 pour Ei N°4 pour la chaudière à vapeur

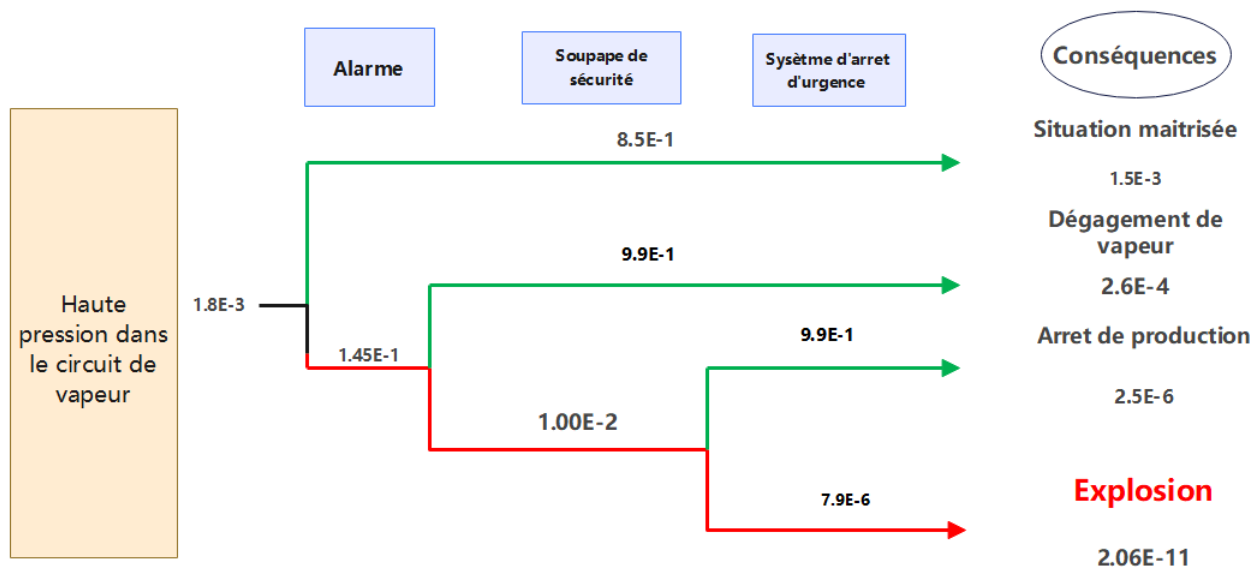


FIGURE 4.6 – Ade 5 pour Ei N°5 pour la chaudière à vapeur

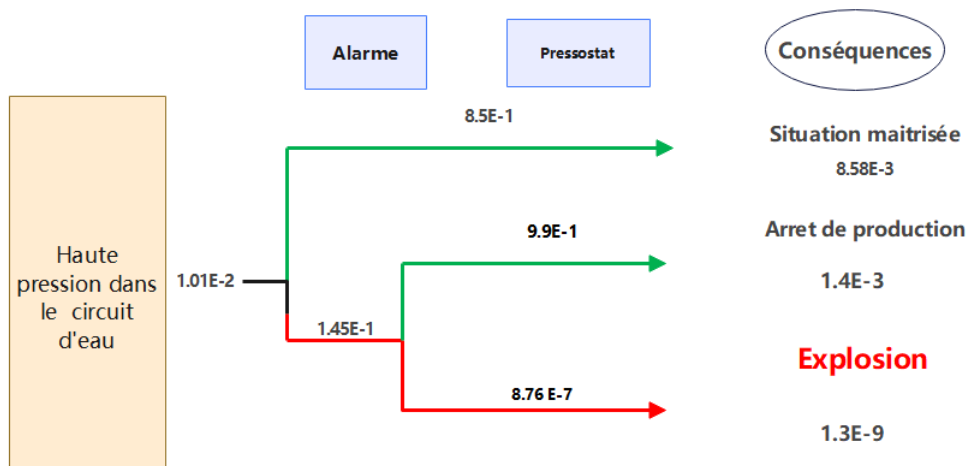


FIGURE 4.7 – Ade 6 pour Ei N°6 pour la chaudière à vapeur

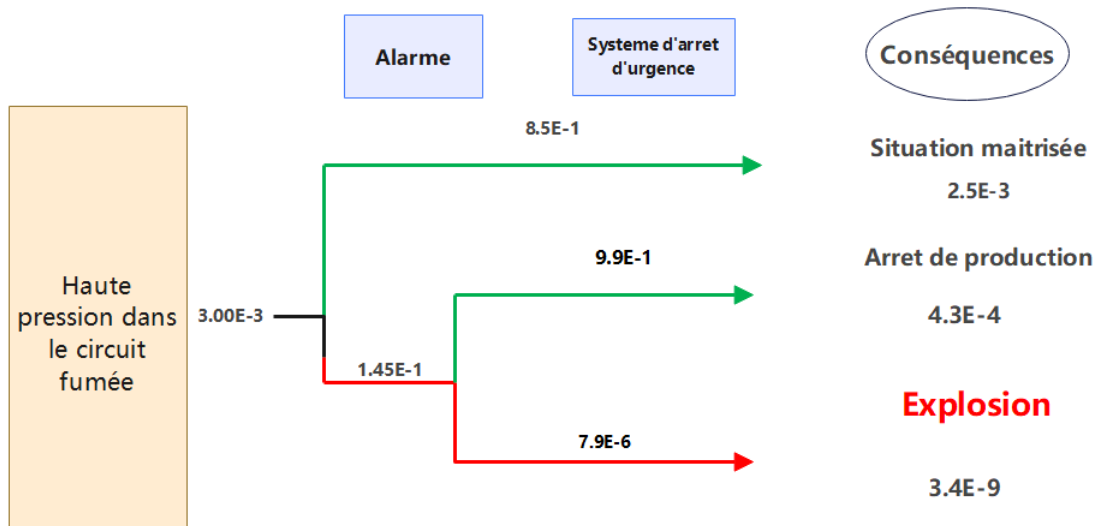


FIGURE 4.8 – Ade 7 pour Ei N°7 pour la chaudière à vapeur

-Arbre des événements pour le scénario N°3

Les figure 4.9 et 4.10 représentent les Ade du scénario 3 des deux derniers Ei.

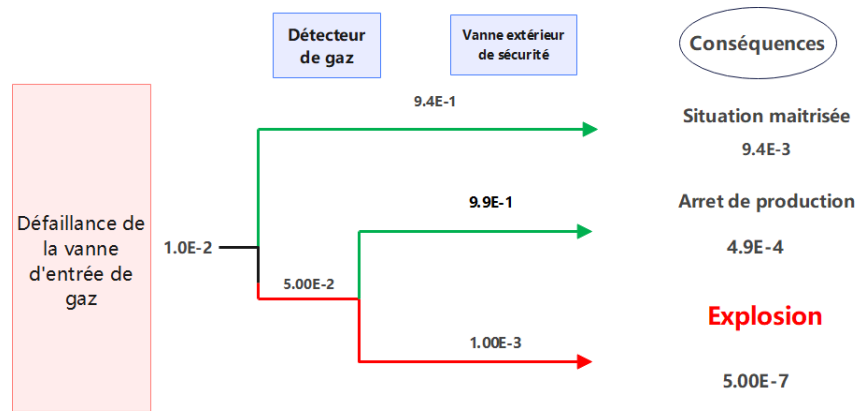


FIGURE 4.9 – Ade 8 pour Ei N°8 pour la chaudière à vapeur

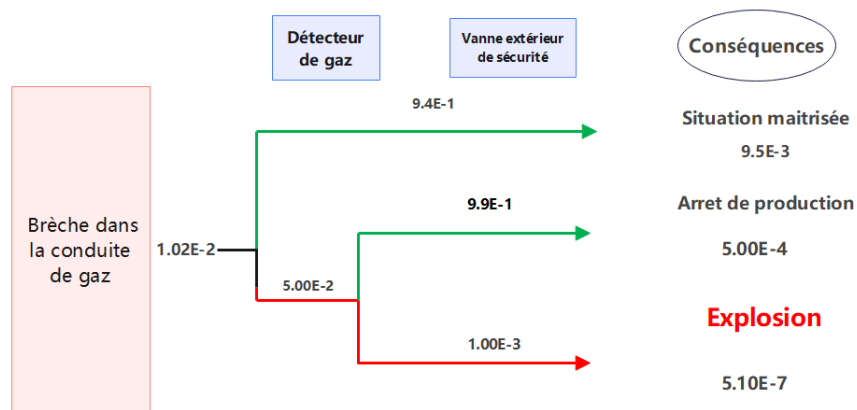


FIGURE 4.10 – Ade 9 pour Ei N°9 pour la chaudière à vapeur

-Calcul des probabilités d'occurrence des conséquences des événements initiateurs (explosion dégagement de gaz de vapeur et arrêt de production)

En utilisant la formule suivante : $F_{ic} = F_{li} \prod_{j=1}^n PFD_{ij}$

La table 4.5 regroupe toutes les probabilités d'occurrence des conséquences de chaque Ei.

TABLE 4.5 – Probabilité d'occurrence des conséquences

Evènement initiateur	Conséquences	Probabilité d'occurrence
Présence de gaz dans la chaudière en phase d'arrêt	Explosion de la chaudière	4.4E-10
	Dégagement de gaz	5.9E-3
	Arrêt de production	5.9E-5
Perte de flamme en fonctionnement	Explosion de la chaudière	8.7E-8
	Arrêt de production	1.09E-2
Défaillance du système d'évacuation de fumée	Explosion de la chaudière	2.6E-7
	Arrêt de production	3.3E-2
Haute pression dans le circuit de gaz naturel	Explosion de la chaudière	1.8E-11
	Dégagement de gaz	2.3E-4
	Arrêt de production	2.3E-6
Haute pression dans le circuit de vapeur	Explosion de la chaudière	2.06E-11
	Dégagement de vapeur	2.6E-4
	Arrêt de production	2.5E-6
Haute pression dans le circuit d'eau	Explosion de la chaudière	1.3E-9
	Arrêt de production	1.4E-3
Haute pression dans le circuit de fumée	Explosion de la chaudière	3.4E-9
	Arrêt de production	4.3E-4
Défaillance de la vanne d'entrée de gaz	Explosion de la chaudière	5.0E-7
	Arrêt de production	4.9E-4
Brèche dans la conduite de gaz	Explosion de la chaudière	5.1E-7
	Arrêt de production	5.0E-4

On somme les fréquences d'occurrence de chaque conséquence pour trois scénarios les résultats sont dans la table 4.6.

TABLE 4.6 – Probabilité d'occurrence des conséquences

Conséquences	Probabilités totale
Explosion de la chaudière	1.36E-6
Arrêt de production	4.6E-2
Dégagement de gaz	6.13E-3
Dégagement de vapeur	2.6E-4

En vérifiant sur la grille de criticité adoptée par CEVITAL la fréquence d'occurrence de l'explosion de gravité **G4** et de probabilité calculée **1.36E-6** inférieur à 1.00E-4 ce qui implique que cette dernière est improbable comme le montre la figure 4.11.

		Conséquences				Probabilité			
						Augmentation de probabilité			
		Gravité	Personnel	Environnement	Public	Biens	P1 Improbable F<E-4 Jamis rencontré mais physiquement possible	P2 Peu probable E-4 < F<E-2 (an) rencontré dans une organisation similaire à CEVITAL	P3 Probable E-2 < F< E-1 (an) S'est produit (Pourrait se produire) au sein de CEVITAL
Augmentation de gravité	G1 Mineur	Blessures mineures	Mineures	Pas d'incidence	Pas de dommages pas d'arrêt de production				
	G2 Sérieux	Blessures significatives	Pollution interne maîtrisée	Blessures mineures	Dommages mineures + arrêt bref de production		Dégagement de gaz et de vapeur	Arrêt de production	
	G3 Grave	Incapacité permanente ou décès	Pollution interne non maîtrisée ou pollution hors limite maîtrisée	Blessures significatives	Dommage localisé + arrêt partiel de production				
	G4 Catastrophique	Plusieurs décès	Pollution hors limite de long durée	Décès	Dommages importants + arrêt total de production	Explosion			

FIGURE 4.11 – Répartition des conséquences

En conclusion, après avoir appliqué la méthode LOPA sur la chaudière à vapeur de CEVITAL, nous avons déterminé que les barrières de protection mises en place sont fiables et suffisantes pour maintenir le niveau de risque dans des limites acceptables. Les probabilités d'occurrence obtenues sont inférieures à la valeur tolérable (selon la norme La norme CEI 60079-10-1), ce qui indique que les mesures de sécurité existantes sont efficaces pour prévenir les incidents indésirables.

4.2 Application de LOPA sur le deuxième système critique séparateur centrifuge

Au cours de notre application des méthodes d'analyse des risques à savoir l'**APR**, **AMDEC** et **ADD**, nous avons identifié des barrières de sécurité. Grâce à la méthode LOPA, nous avons été en mesure de valoriser toutes les couches de protection (barrières techniques et organisationnelles) et de les évaluer pour déterminer si elles sont suffisantes pour assurer un niveau de risque résiduel acceptable ou au minimum tolérable. En effet, sur la base de ces résultats, nous avons proposé des mesures correctives.

4.2.1 Établissement des critères d'acceptabilité et de sélection des scénarios à évaluer

Dans notre situation, l'évaluation de l'acceptabilité et la sélection des scénarios d'accident seront effectuées en utilisant la matrice de criticité adoptée par CEVITAL, comme illustré dans la figure 4.1.

Dans ce qui suit, nous utiliserons la grille de criticité pour évaluer la gravité de chaque conséquence associée aux scénarios identifiés lors des analyses APR et AMDEC précédentes.

Notre objectif sera de sélectionner les scénarios présentant une gravité de niveau catastrophique. Ensuite, nous estimerons la probabilité d'occurrence de ces scénarios en tenant compte des couches de protection existantes dans la raffinerie.

Enfin, nous pourrons tirer une conclusion sur l'acceptabilité des risques présents dans le système étudié et évaluer la fiabilité des barrières de sécurité existantes.

4.2.2 Développement des scénarios d'accidents à évaluer et estimation des conséquences selon les critères d'acceptabilité (grille de criticité)

En se basant sur l'analyse **APR** et l'étude **AMDEC** précédemment réalisées, nous avons identifié les scénarios d'accidents majeurs associés au séparateur, ainsi que les conséquences et la gravité de leurs effets. La Table 4.7 présente de manière détaillée les différents scénarios d'accidents potentiels liés à cet équipement.

TABLE 4.7 – Scénarios d’accidents potentiels possibles pour un séparateur centrifuge

Scénarios N°	Description	Effets	Niveau de Gravité
Scénario 01	Incendie suite à une surchauffe ;	-Pertes humaines (décès) ; -Dommages matériels ; -Arrêt total de la production.	G4 Catastrophique
Scénario 02	Incendie suite à une perte de confinement.	-Pertes Humaines (décès) ; -Dommages matériels ; -Arrêt total de la production.	G4 Catastrophique
Scénario 03	Rejet de matières dangereuses (Huile chaud et pâtes) suite à une perte de confinement.	-Pertes Humaines (décès) ; -Dommages matériels ; -Arrêt total de la production.	G3 Grave

Les conséquences évaluées précédemment varient en termes de gravité, allant de mineurs à catastrophiques. Cependant, dans le cadre de notre étude et conformément à la méthode LOPA, nous nous concentrons uniquement sur les conséquences classées dans la catégorie 4, c’est-à-dire celles qui sont considérées comme des conséquences catastrophiques.

4.2.3 Sélection des scénarios à évaluer

Sur la base de l’étape précédente et la matrice de criticité, les scénarios à évaluer par la méthode LOPA sont illustrés dans la Table 4.8 ci-dessous. Dans cette étape nous allons recensé pour chaque scénario, son événement redouté, ses événements initiateurs ainsi les conséquences de l’apparition de ce scénario.

TABLE 4.8 – Scénarios à évaluer

Scénario	Causes	Conséquences
Perte de confinement	Surpression	Incendie
	Défaillance du système d’étanchéité	
Surchauffe	Défaillance du système de lubrification	Incendie
	Charge excessive	
	Défaillance du système d’eau de manœuvre OWMC	

4.2.4 Détermination des événements initiateurs et de leurs fréquences

D’après les arbres d’événements (ADD 1 et ADD 2) ainsi que les calculs des probabilités d’occurrence des événements redoutés, nous avons calculé la fréquence ou probabilité d’occurrence de chaque événement initiateur, le résultat de ces calculs est illustré dans la Table 4.9.

TABLE 4.9 – probabilité d’occurrence des événements initiateurs

N°	Événement initiateur	Fréquence
1	Surpression	2E-5
2	Défaillance du système l’étanchéité	2E-2
3	Défaillance du système de lubrification	1.00E-1
4	Charge excessive.	2E-2
5	Défaillance du système d’eau de manoeuvre OWMC	4.1E-3

En quantifiant les fréquences d’apparition des événements initiateurs de chaque scénario d’accident, nous permet par la suite de passer à l’élaboration des arbres d’événements pour chaque événement initiateur qui va engendrer un accident majeur en cas de défaillance des barrières de protection. Ces arbres vont nous permettent de calculer la fréquence d’apparition de chaque scénario ainsi que leurs conséquences.

4.2.5 Identification des couches de protection indépendantes

Dans cette étape nous allons identifier toutes les couches de protection existantes, à savoir les barrières de protection et de prévention ainsi que leur probabilité de défaillance à la demande (PFD) recueillites de la base de données OREDA, la Table 4.10 nous donne le résultat de cette identification.

TABLE 4.10 – Couches de protection

Type de couche	barrière	Probabilité de défaillance
Couches de prévention	Alarme	1.45E-1
	Sonde de température	9.2E-5
	Régulateur de vitesse	1.00E-1
Couches de protection et mitigation	Vanne de contre pression	1.0E-2
	Système d’arrêt d’urgence	7.9E-6

4.2.6 Détermination des fréquences des scénarios d’accidents

La détermination des fréquences des scénarios d’accidents à l’aide des Ade implique une évaluation approfondie des différents événements qui peuvent contribuer à l’occurrence d’un accident. Nous allons établir pour chaque Ei un Ade. Les figure 4.12 et 4.13 représentent les ade du scénario 1 des deux premiers Ei.

-Arbre des événements pour le scénario N°1

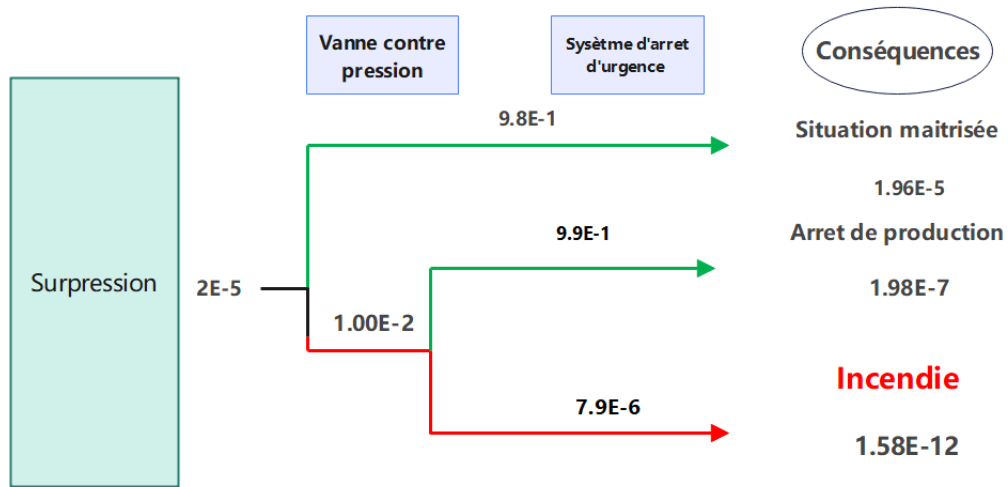


FIGURE 4.12 – Ade 1 pour Ei N°1 pour le séparateur

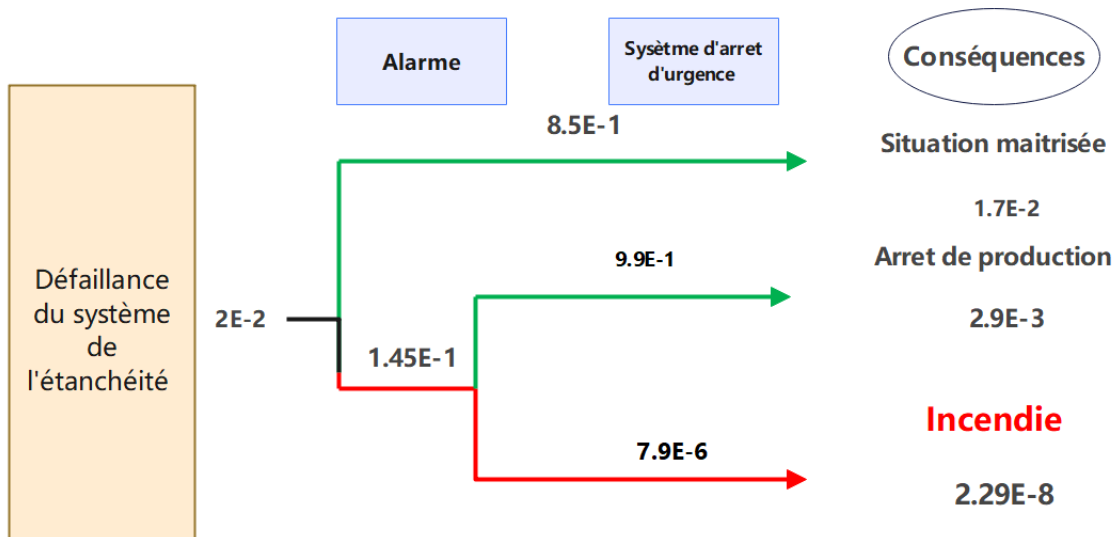


FIGURE 4.13 – Ade 2 pour Ei N°1 pour le séparateur

-Arbre des événements pour le scénario N°2 pour le séparateur

Les figure 4.14, 4.15 et 4.16 représentent les ade du scénario 2 des trois second Ei.

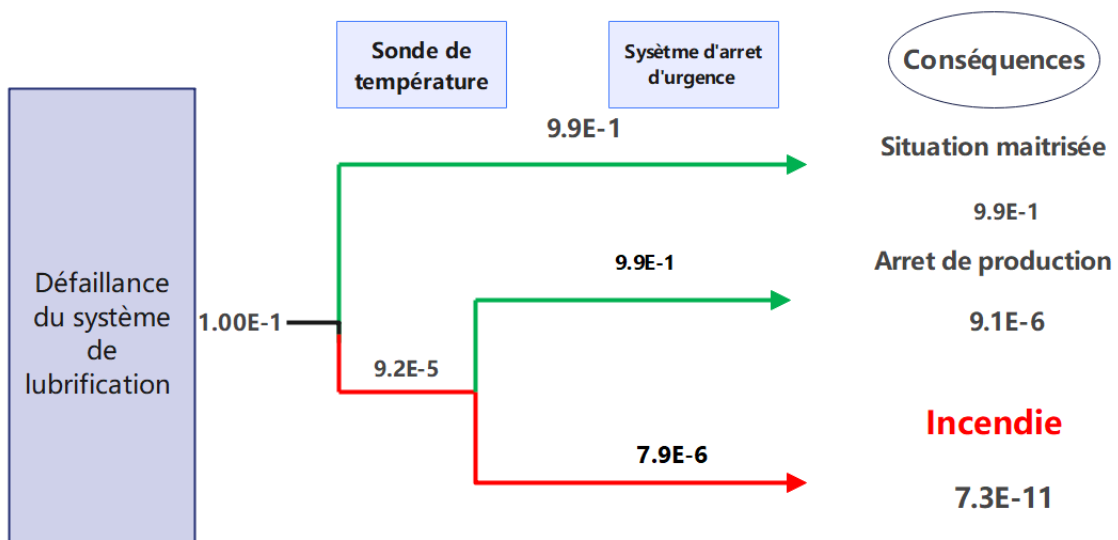


FIGURE 4.14 – Ade 1 pour Ei N°2 pour le séparateur

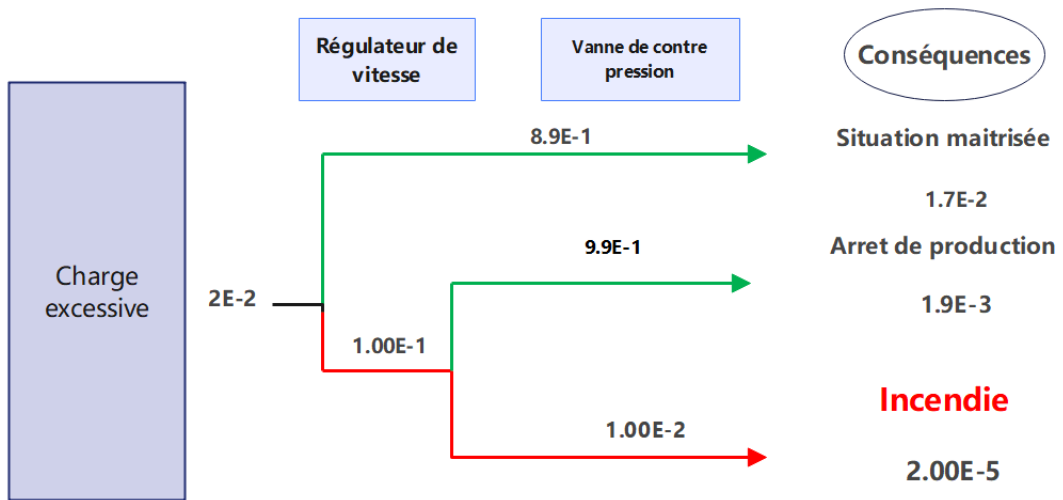


FIGURE 4.15 – Ade 2 pour Ei N°2 pour le séparateur

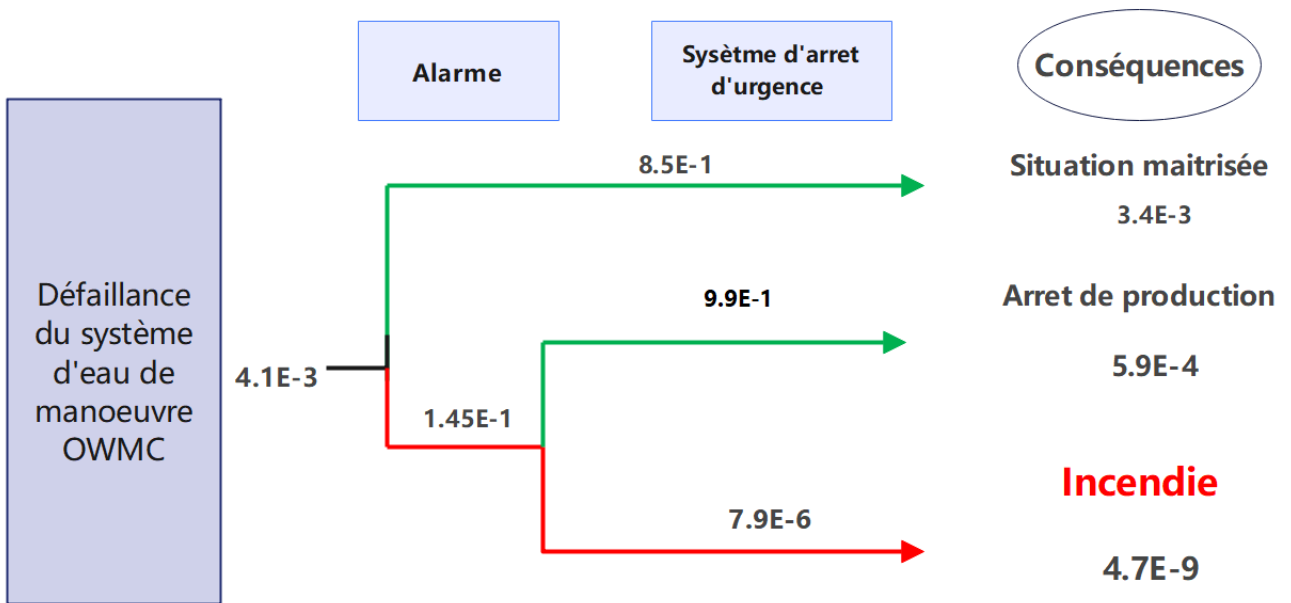


FIGURE 4.16 – Ade 3 pour Ei N°2 pour le séparateur

-Calcul des probabilités d'occurrence des conséquences des événements initiateurs (incendie et arrêt de production)

En utilisant la formule suivante : $F_{ic} = F_{li} \prod_{j=1}^n PFD_{ij}$

La table 4.11 regroupe toutes les probabilités d'occurrence des conséquences de chaque Ei.

TABLE 4.11 – Probabilité d'occurrence des conséquences

évènement initiateur	Conséquences	Probabilité d'occurrence
Surpression	Incendie	1.58E-12
	Arrêt de production	1.98E-7
Défaillance du système l'étanchéité	Incendie	2.29E-8
	Arrêt de production	2.9E-3
Défaillance du système de lubrification	Incendie	7.3E-11
	Arrêt de production	9.1E-6
Charge excessive	Incendie	2.00E-5
	Arrêt de production	1.9E-3
Défaillance du système d'eau de manoeuvre OWMC	Incendie	4.7E-9
	Arrêt de production	5.9E-4

On somme les fréquences d'occurrence des conséquences pour les deux scénarios les résultats sont dans la table 4.12.

TABLE 4.12 – Probabilité d’occurrence des conséquences

Conséquences	Probabilités totale
Incendie	2.00E-5
Arrêt de production	5.3E-3

En vérifiant sur la grille de criticité adoptée par CEVITAL la fréquence d’occurrence de l’explosion est de 2.00E-5 inférieur à 1.00E-4 ce qui implique que cette dernière est improbable.

En conclusion, après avoir appliqué la méthode LOPA sur le séparateur de CEVITAL, nous avons déterminé que les barrières de protection mises en place sont fiables et suffisantes pour maintenir le niveau de risque dans des limites acceptables. Les probabilités d’occurrence obtenues sont inférieures à la valeur tolérable, ce qui indique que les mesures de sécurité existantes sont efficaces pour prévenir les incidents indésirables.

Il est important de souligner que la fiabilité des barrières de protection doit être régulièrement évaluée et maintenue tout au long du cycle de vie du système pour assurer une gestion continue des risques. Des procédures de maintenance appropriées, des inspections régulières et des tests de fonctionnement sont essentiels pour garantir que les barrières restent opérationnelles et efficaces.

Dans le chapitre suivant nous allons proposer un plan de maintenance préventive et une interface d’une application afin de faciliter à l’entreprise la tâche de la maintenance préventive.

Chapitre 5

Élaboration d'un plan de maintenance
préventive pour la chaudière à vapeur et
le séparateur centrifuge

L'objectif principal de la fonction maintenance est d'optimiser la disponibilité des équipements et des installations de production en réduisant les temps d'arrêt. Cela implique la prévention des pannes et des défaillances, ainsi que la mise en place d'une séparation rapide et efficace des équipements lorsque nécessaire.

Malgré son importance pour la performance globale de l'entreprise, la fonction maintenance est souvent perçue comme coûteuse et non productive. Cependant, elle joue un rôle crucial en réduisant les coûts liés aux pannes et aux arrêts de production, en améliorant la qualité des produits et en prolongeant la durée de vie des équipements.

Pour atteindre ces objectifs, il est essentiel d'avoir une organisation de maintenance efficace qui comprend une planification et une programmation des activités de maintenance, ainsi qu'une gestion appropriée des pièces de rechange et des outils nécessaires. De plus, il est important de mettre en place des mesures méthodiques pour évaluer les performances de la maintenance, en utilisant des indicateurs tels que la disponibilité des équipements, la qualité et les coûts.

Dans la suite, nous aborderons d'abord les généralités sur la maintenance et définition de la maintenance préventive, puis nous allons proposer un plan de maintenance préventive pour les deux équipements à savoir la chaudière à vapeur et le séparateur centrifuge. Enfin, nous proposons un prototype d'une application dédiée à la maintenance préventive qui va faciliter le travail au maintenancier et aider à la numérisation des documents pour la maîtrise documentaires.

5.1 Généralités sur la maintenance

5.1.1 Définition de maintenance

La maintenance englobe toutes les actions nécessaires pour maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié, lui permettant d'assurer un service défini selon des conditions prédéterminées. Ces actions incluent des aspects techniques, administratifs et de gestion. Les deux principales formes de maintenance sont la maintenance corrective, qui intervient après une défaillance, et la maintenance préventive, qui vise à prévenir les pannes par des actions planifiées [28].

5.1.2 Objectifs de la maintenance

L'expérience passée a montré que toute usine, entreprise ou unité de production ne peut pas être rentable si elle néglige ou gère mal la maintenance. Cela est dû à une mauvaise connaissance de la durée de vie du matériel, à la négligence des opérations d'entretien et au manque d'attention accordée au maintien de l'outil de production en bon état de fonctionnement.

Afin d'éviter de telles situations et de tirer des bénéfices, les responsables d'entreprise ont compris l'importance cruciale de la maintenance.

Parmi les nombreux objectifs de la maintenance, on peut citer les suivants :

- Maintenir les équipements dans un état de fonctionnement optimal, en termes de qualité, de délais et de coûts.
- Moderniser en permanence les équipements pour maintenir ou améliorer leurs performances initiales.

- Assurer la sécurité des travailleurs.
- Garantir la qualité et la reproductibilité des produits finis [28].

5.1.3 Types de maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s’effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s’opérer en accord avec la direction de l’entreprise. Pour choisir, il faut donc être informé d’une part des objectifs de la direction et des enjeux de l’entreprise, et d’autre part il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d’application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production [28].

La figure 5.1 nous montre les types de maintenance et la relation de choix d’un type de maintenance avec l’existence d’une défaillance ou non.

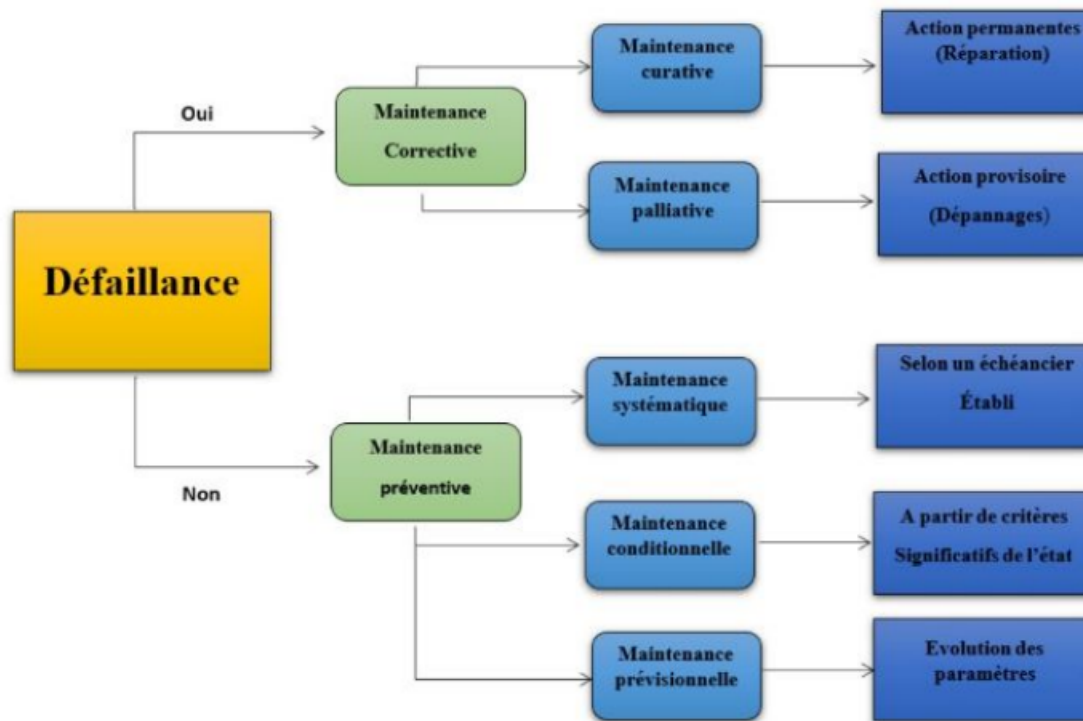


FIGURE 5.1 – Types de maintenance

5.2 Maintenance préventive

La maintenance préventive vise à réduire la probabilité de défaillance ou de détérioration d’un bien ou d’un service. Elle est déclenchée selon un calendrier établi en fonction d’un nombre prédéterminé d’unités d’utilisation (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés indiquant l’état de détérioration du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

Il existe trois types de maintenance préventive à savoir :

5.2.1 Maintenance préventive systématique

C'est une maintenance préventive effectuée à des intervalles de temps prédéfinis ou selon un nombre d'utilisations spécifié, sans vérification préalable de l'état du bien.

5.2.1 Maintenance préventive conditionnelle

C'est une maintenance préventive basée sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou de paramètres significatifs de ce fonctionnement, intégrant les actions qui en découlent.

5.2.1 Maintenance préventive prévisionnelle

Cette maintenance préventive est basée sur des analyses et des prédictions pour anticiper les défaillances potentielles et prendre des mesures préventives en conséquence.

Ces différentes approches de la maintenance préventive visent à minimiser les risques de défaillance et à optimiser la disponibilité et les performances des biens et services.

5.3 Cas de la raffinerie de l'huile Cevital

Comme notre étude est basée sur la réduction de nombre pannes et nos objectifs sont de prévenir les défaillances des composants des équipements et lutter contre l'apparition des pannes qui engendre un arrêt de production voir même un accident majeur comme une explosion ou un incendie.

Donc, dans ce qui suit, nous allons nous concentrer sur la maintenance préventive ainsi que sur l'inspection journalière.

Durant ce chapitre nous allons proposer un plan de maintenance préventive qui comporte le côté inspection et côté intervention et remplacement ou réparation, à chacun des deux équipements à savoir la chaudière à vapeur et le séparateur centrifuge.

5.3.1 Élaboration d'un plan de maintenance pour la chaudière à vapeur

L'application d'une maintenance préventive permet de mieux exploiter la chaudière à vapeur, en réduisant l'effet des pannes voir même supprimer l'occurrence de certaines d'entre elles. Cependant ce choix peut coûter cher pour l'entreprise.

Dans cette partie nous allons établir un plan de maintenance approprié à la chaudière à vapeur en tenant compte des résultats de l'analyse APR et HAZOP, qui nous montrent que les causes principales des déviations potentielles des paramètres de chaudière sont d'origine technique, c'est à dire qu'elles sont dues à des défaillances des différents composants de la chaudière à savoir les composants de fonctionnement et/ou les composants de sécurité et de contrôle.

Dans le plan de maintenance de la chaudière nous allons proposer deux niveaux de maintenance préventive, le niveau 1 pour l'inspection et contrôle des équipements et composants et le niveau 2 qui se concentre sur l'intervention sur l'équipement (nettoyer, remplacer, démonter ...etc). Nous avons examiné 8 sous-systèmes de la chaudière à vapeur leurs composants à savoir :

- Système d'évacuation de vapeur :

Canalisations, Vanne de sortie de vapeur, Clapet anti-retour, Soupape de décharge et le pressostat.

- Système d'alimentation d'eau :

Pompe d'alimentation en eau, La bêche à eau, Vanne et Flotteur, Conduites et tuyauteries et Filtre à eau.

- Système d'alimentation de gaz :

Canalisations, Vanne, Détecteur de gaz, Pressostat de gaz et la Pompe.

- Brûleur :

Le corp du Brûleur et les injecteur, les organes de régulation, les électrodes d'allumage, pompes et filtre d'air, Moteur de combustion de gaz.

- Chambre de combustion :

Serpentin, joints et raccords et Tubes de chauffage.

- Système d'évacuation de fumée :

Cheminée, Canalisation, thermostat et Alarme.

- Armoire électrique :

Organes de commande, disjoncteurs et circuits électriques.

-Système de protection contre la corrosion :

Revêtement.

Le détail du plan de maintenance pour la chaudière est donné en Annexe 11.

5.3.2 Élaboration d'un plan de maintenance pour le séparateur centrifuge

L'application d'une maintenance préventive permet de mieux exploiter la séparateur centrifuge, en réduisant l'effet des pannes voir même supprimer l'occurrence de certaines d'entre elles. Cependant ce choix peut coûter cher pour l'entreprise.

Dans cette partie nous allons établir un plan de maintenance approprié au séparateur centrifuge en tenant compte des résultats de l'analyse APR et l'analyse AMDEC, qui nous montrent que les causes principales des Défaillances des composants du séparateur sont dû aux fissures, usure, corrosion, défauts de lubrification, rupture, défauts réglage, manque d'entretien et à l'accumulation des débris.

Dans le plan de maintenance du séparateur nous allons proposer deux niveaux de maintenance préventive, le niveau 1 pour l'inspection et contrôle des équipements et composants et le niveau 2 qui se concentre sur l'intervention sur l'équipement (nettoyer, remplacer, démonter ...etc). Nous avons examiné 7 sous-systèmes de la chaudière à vapeur leurs composants à savoir :

- Motor :

les composants du Motor, Bain d'huile.

- Système d'alimentation et évacuation de l'huile Entrée/Sortie :

Les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol, Vannes d'entrées et sorties et tuyauteries , Bague de réglage.

- Bol de séparation :

Les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol, Vannes à bochon et joint d'étanchéité du capot du bol, les pièces du bol , le Corp du bol, filetages de la bague, Disque et l'axe du bol.

- Moudule d'eau de manoeuvre :

les canaux, joints et garnitures mécaniques.

- Châssis et le dispositif de Frein :

Garniture de frein, Vis sans fin, vis de vidange, Fondation, Capteur de vitesse.

-Arbre vertical :

joints et garnitures mécaniques, Roulements à billes, Amortisseurs, Palier inférieur et l'Engrenage.

- Arbre Horizontal :

Joints en caoutchouc / garnitures, Roulements à billes, Plaques de couplage, l'arbre de la roue et Paliers.

5.4 Proposition d'un prototype d'une application facilitant la maintenance au sein de CEVITAL

La numérisation des documents de l'entreprise est devenue une pratique essentielle pour améliorer la gestion de la maintenance. Dans cet objectif, nous avons développé un prototype d'application visant à faciliter et améliorer la tâche de la maintenance.

Grâce à cette application, les documents physiques de l'entreprise sont convertis en formats numériques, permettant un accès instantané à l'information. En utilisant cette application, les équipes de maintenance peuvent rapidement consulter les les plans de maintenance, les check lists et les

sauvgarder ainsi de revoir ceux de la dernière maintenance et d’avoir une idée sur le taux d’accomplissement de la maintenance , le tout de manière centralisée et sécurisée.

De plus, cette application offre des fonctionnalités permettant aux équipes l’accès rapide à l’état des équipement. Les techniciens sur le terrain peuvent accéder à ces documents numériques via leurs appareils mobiles, ce qui facilite l’exécution des tâches de maintenance sur site. En numérisant les documents de l’entreprise et en fournissant une application dédiée, nous visons à optimiser les processus de maintenance, en réduisant les erreurs et les délais, et en améliorant l’efficacité globale des opérations de maintenance. La figure 5.2 représente la page d’accueil de notre application.

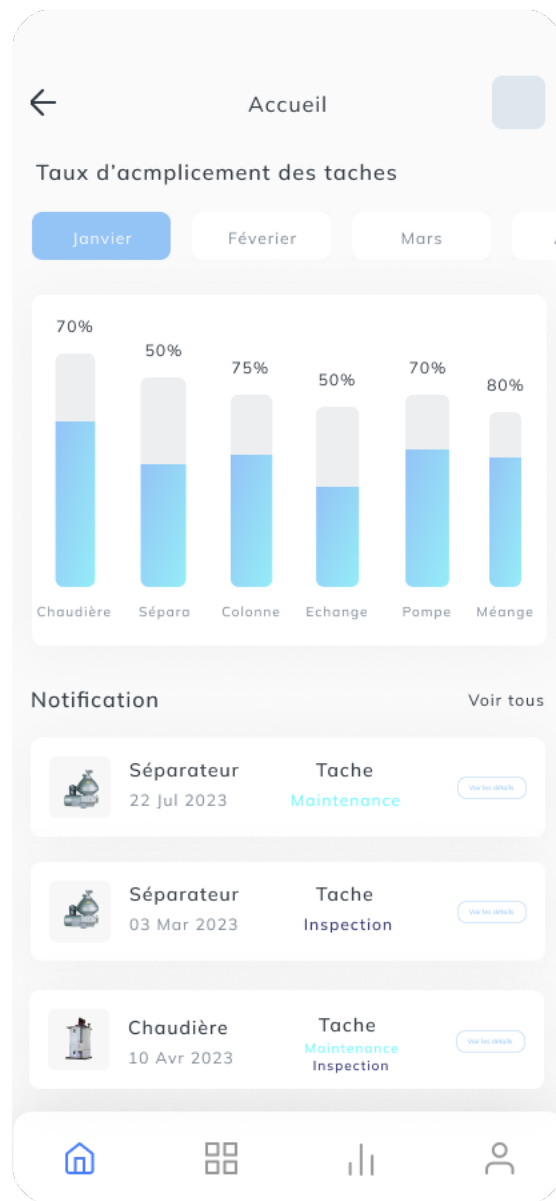


FIGURE 5.2 – Page d’accueil de l’application

-Prototype au complet de l’application

La figure 5.3 représente la page contenant tous les équipements de la raffinerie de Cevital afin de faciliter la gestion de la maintenance de chacun de ces derniers.



FIGURE 5.3 – Page d'accès aux équipements

La figure 5.4 représente la page contenant toutes informations facilitants aux maintenanciers leur tâche.



FIGURE 5.4 – Page de détails sur les équipements

La figure 5.5 représente la page contenant les plans de maintenance et inspection à télécharger.



FIGURE 5.5 – Page pour téléchargement des plans de maintenance et inspection

La figure 5.6 représente la page contenant des statistiques sur les composants.

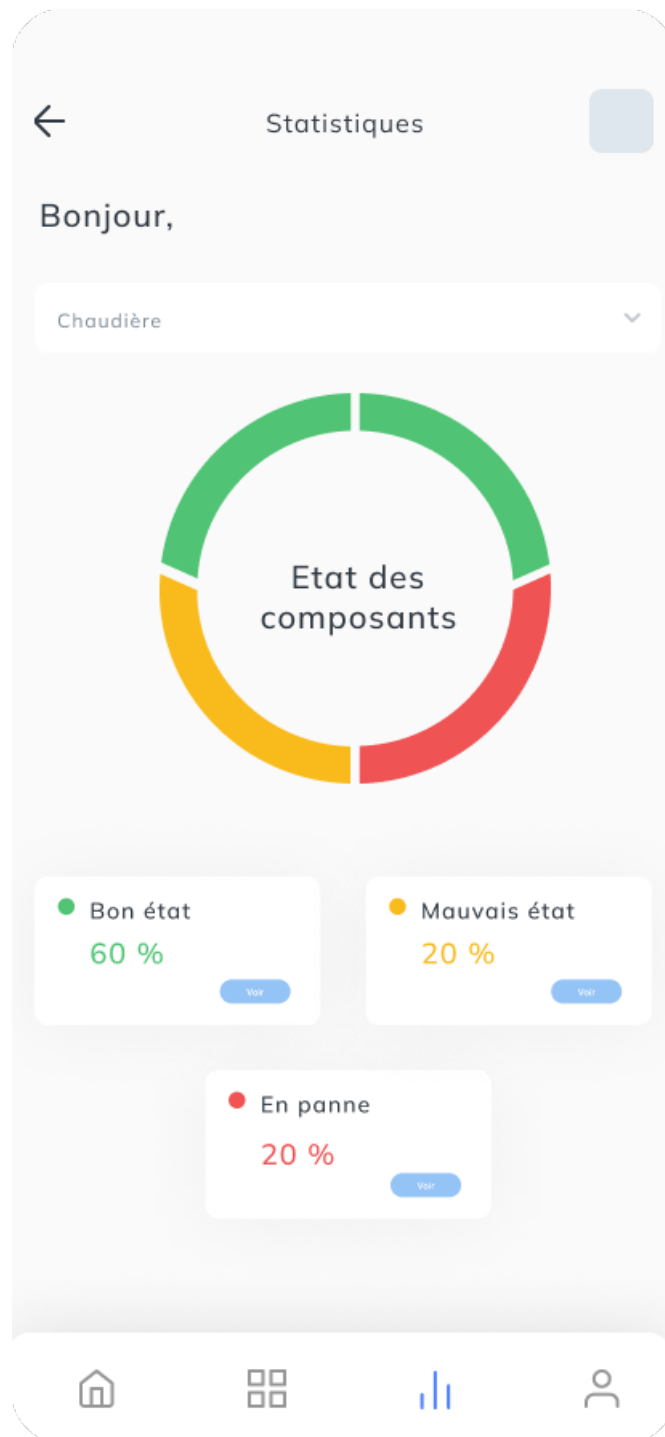


FIGURE 5.6 – Page des statistiques des composants

La figure 5.7 représente la page contenant les check lists à télécharger et à enregistrer sur l'application.

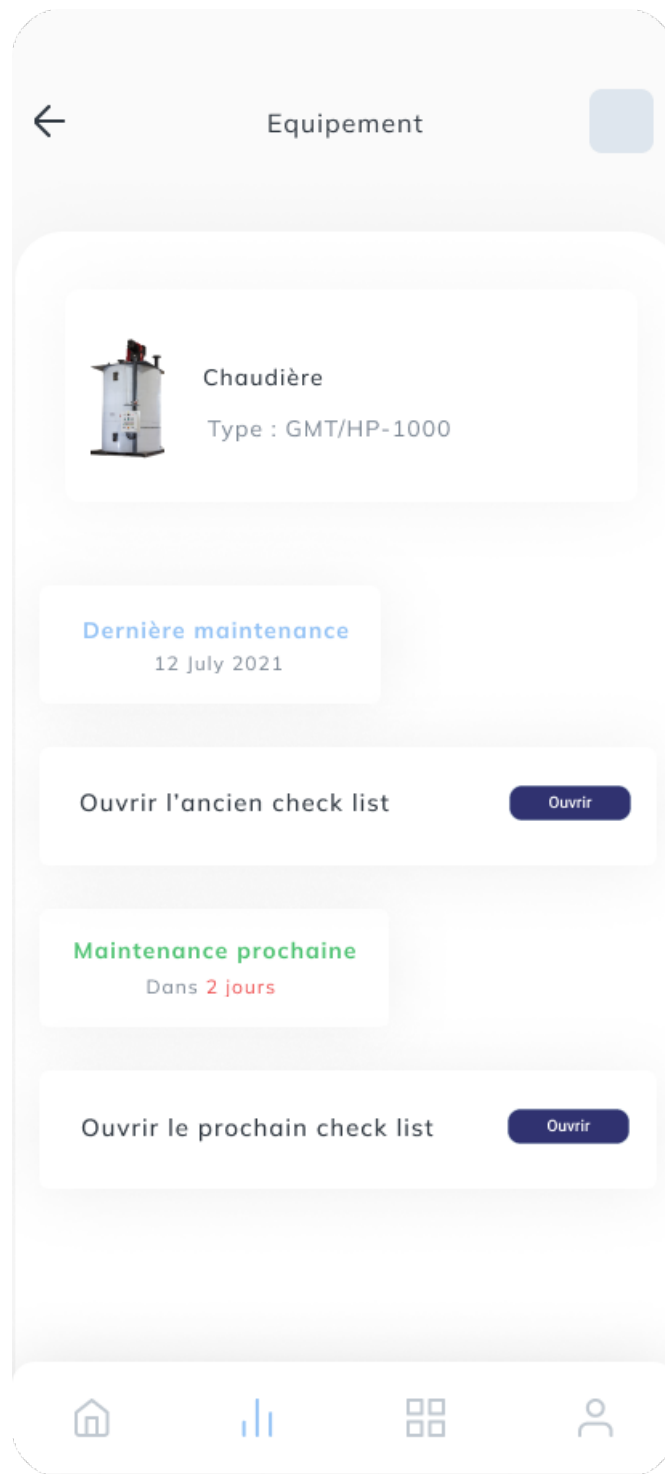


FIGURE 5.7 – Page des check lists

La figure 5.8 représente la page contenant le plan del maintenance à télécharger et à enregistrer sur l'application.

Plan de Maintenance pour la Chaudière à Vapeur					
ms-Système	Equipement/ Composant	Surveillance et intervention	Fréquence	Remplacement et intervention	Fréquence
Système évacuation de vapeur	Canalisation	Vérifier l'absence de corrosion, de fuite ou fissures	1 Mois	Contrôle CND ou Remplacer si nécessaire les canalisation	2 Ans
	Vanne de sortie de vapeur	Vérifier l'état des ressorts, joints	Chaque semaine	Remplacer les joints	6 Mois
	Clapet anti-retour	Vérifier l'étanchéité et l'état des joints	Chaque semaine	Remplacer les joints	6 Mois
	Soupape de décharge	Vérifier les contact, l'état du ressort et de disque de rupture	1 Mois	démonteur la soupape pour controle et remplacement du ressort	1 Ans
	pressostat	Inspecter et vérifier le réglage	Tous les jours	nettoyer les sondes de mesure	6 Mois
Système alimentation d'eau	Pompe d'alimentation en eau	Inspection sensorielle et visuelle, bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.	3 Mois	Démonteur et contrôler les étages de la pompe et sa partie électrique	5 Ans
	La bache à eau	Contrôler le niveau et la qualité d'eau dans la bache à eau.	15 Jours	Vider et nettoyer le bac à eau	1 Ans
	Vanne et Flotteur	Contrôler la vanne d'arrêt et le Flotteur	15 Jours	Changer le flotteur si nécessaire.	1 Ans
	Conduites et tuyauteries	Contrôler les conduites et les raccords s'ils ne présentent pas de points de fuites, s'assurer que les raccords sont bien fixés.	6 Mois	Vérifier l'épaisseur de la tuyauteries	5 Ans
	Filtre à eau	Nettoyer ou de remplacer régulièrement le filtre pour maintenir une qualité d'eau adéquate.	1 Mois	Remplacer le filtre	3 Mois
Système alimentation de gaz	Canalisation	Vérifier l'absence de corrosion, fuites ou fissures	1 Mois	Contrôle CND ou Remplacer si nécessaire les canalisation	2 Ans
	Vanne	Vérifier les ressorts et manoeuvrer les vannes	Chaque semaine	Remplacer les ressort	6 mois
	Détecteur de gaz	Vérifier le bon fonctionnement	Tous les jours	étalonnage	1 ans
	Pressostat de gaz	Vérifier le contact et assurer le bon réglage et bonne lecture	Tous les jours	étalonnage	1 ans
	Pompes	Vérifier le bon fonctionnement et l'absence des bruits inhabituels	Tous les jours	démonteur la pompes et sa partie électrique	5 ans
Brûleur	le corp du Brûleur et les injecteur	- Inspectez et nettoyez les injecteurs pour éliminer les débris -Lubrification des pièces mobiles du Brûleur	3 Mois	/	/
	les organes de régulation	Vérifier les organes de régulation (Pressostat d'air et de gaz, régulateur de débit de gaz)	1 Mois	Remplacer ou étalonner les organes de régulation	1 Ans
	les électrodes d'allumage	Vérifier le bon placement des électrodes et dépoussiériser les électrodes d'allumage	1 Mois	changer l'électrode	1 Ans
	pompes et filtre d'air	-Vérifier le bon fonctionnement de la pompe, Inspection sensorielle et visuelle, bruit anormal, vibrations	Tous les jours	Changer ou Nettoyer le f	6 Mois
	Moteur de combustion de gaz	-Vérifier la courroie du ventilateur et ses ailettes -Changer l'huile de lubrification du moteur -Inspection visuelle et sensorielle d'un bruit anormal ou vibration inhabituelle	6 mois	/	/
chambre de combustion	Serpentin	Vider et vérifier la chaudière via la vanne de vidange	6 mois	/	/
	joints et raccords	Vérifier l'état des joints et raccords mécaniques	6 mois	/	/
		Nettoyer les tubes de chauffe			

FIGURE 5.8 – Plan de maintenance

Dans ce chapitre nous avons traiter la maintenance dans sa globalité ainsi proposer un prototype d'une application facilitant cette dernière pour le cas de Cevital.

Conclusion

Ce travail porte sur l'amélioration de la gestion des risques industriels, l'évaluation de la fiabilité des barrières existantes et l'élaboration d'un plan de maintenance préventive dans la raffinerie de l'huile alimentaire Cevital. La méthodologie utilisée comprend une décomposition fonctionnelle de la raffinerie, une analyse préliminaire des risques (APR), une analyse HAZOP et une analyse AMDEC.

L'analyse a révélé que l'installation de raffinage de l'huile était le système critique présentant le plus de risques inacceptables, principalement en raison de la chaudière à vapeur et du séparateur centrifuge. Des scénarios d'accidents potentiels ont été identifiés, tels que l'accumulation de gaz inflammable, les fuites de gaz et les situations de surpression pour la chaudière, ainsi que la perte de confinement et la surchauffe dans séparateur centrifuge.

Nous avons utilisé la méthode LOPA (Layers of Protection Analysis) pour évaluer la fiabilité et l'efficacité des barrières existantes dans la raffinerie. L'objectif était d'estimer la fréquence d'apparition des scénarios d'accidents identifiés lors de l'étude HAZOP et de l'analyse AMDEC, et de déterminer si les barrières existantes étaient suffisantes et efficaces pour prévenir ces incidents.

Les résultats de l'application de la méthode LOPA ont démontré que les barrières de protection mises en place dans la raffinerie ont réussi à réduire la fréquence d'apparition de ces scénarios à un niveau acceptable et tolérable. Cela indique que les barrières sont fiables et efficaces dans la prévention des accidents.

Des plans de maintenance préventive ont été élaborés pour chaque équipement critique, en fournissant des instructions détaillées sur la fréquence des activités de vérification. Pour la chaudière et le séparateur, ces plans de maintenance préventive comprennent des activités telles que l'inspection régulière des composants, le nettoyage des conduites, le remplacement des pièces usées, la vérification des paramètres de fonctionnement, et d'autres actions visant à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement.

Un prototype d'application de maintenance numérique a également été proposé pour faciliter la consultation des plans de maintenance, des plannings et des check-lists de visite. Cette application vise à simplifier le travail des maintenanciers et à optimiser les opérations de maintenance.

En conclusion, ce travail de a mis en évidence l'importance de l'amélioration de la gestion des risques industriels, de l'évaluation de la fiabilité des barrières existantes et de l'élaboration d'un plan de maintenance préventive dans le contexte spécifique de la raffinerie étudiée. Les résultats obtenus ont permis de mieux comprendre les risques potentiels, les défaillances des équipements et les mesures préventives à mettre en place. Ce travail constitue une base solide pour une gestion efficace et proactive de la sécurité et de la maintenance dans le secteur industriel, contribuant ainsi à la protection des personnes, de l'environnement et des actifs de l'entreprise.

Références Bibliographiques

Bibliographie

- [1] DIRECTION, CEVITAL, “Groupe cevital. (s.d.). accueil,” <https://www.cevital.com>, consulté le 20 mars 2023.
- [2] CEVITAL, “Documentation interne de cevital,” 2016.
- [3] J. Denise, Le raffinage des corps gras. Edition BEFFROIS, 1983.
- [4] Organisation Internationale du Travail. Site web officiel de l’oit. <https://www.ilo.org/>. Consulté le 1 avril 2023.
- [5] Analyse Recherche et Information sur les Accidents (ARIA). Site officiel de l’aria. <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>. Consulté le 1 avril 2023.
- [6] International Electrotechnical Commission (IEC), “Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic (e/e/pe) safety related systems,” International Electrotechnical Commission (IEC), Tech. Rep., 1998.
- [7] BSI, Afnor, “Système de management de la santé et de la sécurité au travail - spécification,” BSI, Afnor, Tech. Rep., 1999.
- [8] M.-H. Mazouni, “Pour une meilleure approche du management des risques : De la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d’aide à la décision,” Ph.D. dissertation, Nancy Université, Institut Nationale Polytechnique de Lorraine, France, 2008.
- [9] A. Villemeur, Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Eyrolles, 1998, no. 2.
- [10] International Organization for Standardization (ISO), ISO 31000 : Management du risque - Principes et lignes directrices, Édition originale ed., Juillet 2009.
- [11] CEI, Gestion de la sûreté de fonctionnement, 1995, no. CEI 300-3-9.
- [12] C. Kirchsteiger, “On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis,” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 12, pp. 339–419, 1999.
- [13] CEI, Techniques d’analyse de la fiabilité du système procédure d’analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), 2006, no. CEI 60812.
- [14] Y. M., Méthodes d’analyse des risques. Technique de l’ingénieur, 2005, vol. se4040, no. Tib155.
- [15] S. THERRIEN, “Développement d’une méthodologie pour déterminer les objectifs de fiabilité des systèmes importants pour la sûreté d’une centrale nucléaire de type candu,” Ph.D. dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières, 2006.
- [16] CEI, Études de danger et d’exploitabilité (étude HAZOP) - Guide d’application, 2001.
- [17] INERIS, Méthodes d’analyse des risques générés par une installation industrielle (DRA), 2006.
- [18] C. Ledoux, Analyse de risques appliquée à la validation du nettoyage des équipements de fabrication de médicaments aérosols, 2014.

- [19] ENSPM, Sécurité des Systèmes - Analyse des Risques, 2005.
- [20] International Electrotechnical Commission et al., CEI/IEC 61025 : 2006 Fault Tree Analysis (FTA). Int Stand, 2006.
- [21] Y. Mortureux, Arbres de défaillance, des causes et d'événements, 2002.
- [22] Offshore Reliability Data Handbook, Offshore Reliability Data Handbook, 2002.
- [23] International Electrotechnical Commission, Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector, 1st ed. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2004.
- [24] Center for Chemical Process Safety, Layers of Protection Analysis : Simplified Process Risk Assessment, New York, 2001.
- [25] INERIS, DRA-35 : Éléments importants pour la sécurité EIPS, 2003, no. Rapport 6.
- [26] "Model gmt-hp," <https://www.garioninaival.com/en/industrial-boilers/steam-generators/model-gmt-hp/>, Date Accessed, consulté le 2 juin 2023.
- [27] Alfa Laval Separation AB, "Separator manuals," Dept. SKL, S-147 80 Tumba, Suède.
- [28] D. Richet, Maintenance basée sur la fiabilité : un outil pour la certification. Edition Masson, 1996.

Annexes

Annexe 1 :Analyse fonctionnelle

Système				Sous système				
S-N°	Nom	Entrées	Sorties	SS-N°	Nom	Entrées	Sorties	Equipements
1	Process de raffinage de l'huile brute	Huile brute	Huile Alimentaire	1	Dégommage et neutralisation	-Huile brute -Acide phosphorique H ₃ PO ₄ -Soude caustique NaOH -Energie électrique -Energie thermique	-Mélange huile neutralisée,savon et gommés (soapstock)	-Pompes d'alimentation -Réchauffeurs -Mélangeur d'acide -Mélangeur de soude -Réacteur de maturation -Cristalliseurs -Refroidisseurs -Vannes -Canalisation
				2	Séparation	-Mélange huile neutralisée,savon et gommés (soapstock)	-Huile neutralisée -Soapstock (pâtes)	-Séparateurs -Bac de pâtes -Bac tampon -Vannes -Canalisation

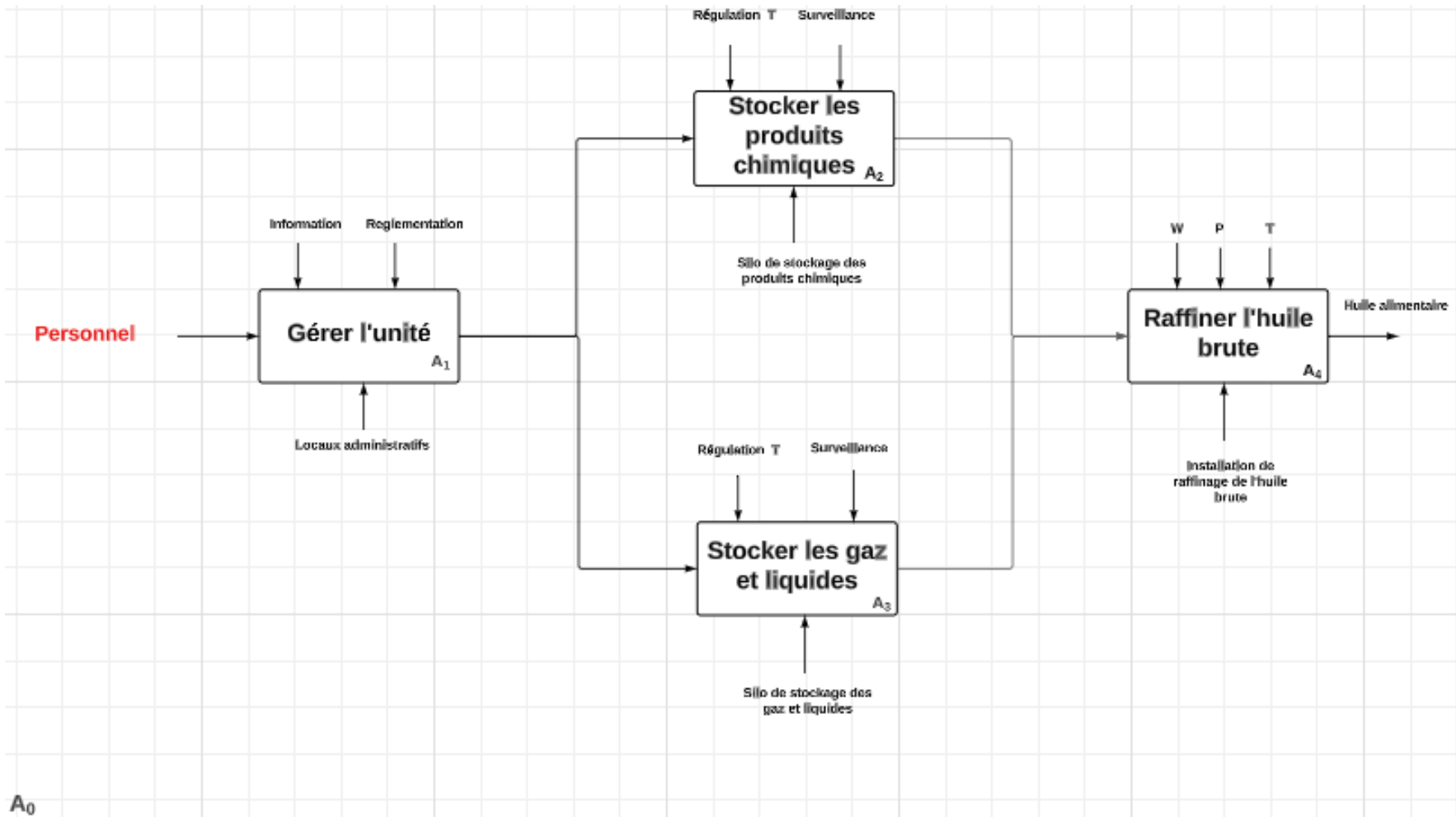
				3	Lavage	-Huile neutralisée -Eau chaude -Acide citrique $C_6H_8O_7$	-Huile neutralisée lavée	-Réchauffeurs -Séparateur de lavage -Mélangeur de lavage -Vannes -Canalisation
				4	Séchage sous vide	-Huile neutralisée lavée	-Huile neutralisée séchée	-Sécheur sous vide -Vannes -Canalisation
				5	Prétraitement à sec	-Huile neutralisée -Acide citrique	-Huile neutralisée prétraitée	-Réchauffeurs -Mélangeur -Vannes -Canalisation
				6	Décoloration	-Huile neutralisée prétraitée	-Huile décolorée -Terre décolorante désactivée	-Bac tampon -Pompes d'alimentation -Réacteur de décoloration -Filtres de décoloration -Trémie de décharge de terre décolorante
				7	Désodorisation	-Huile décolorée -Eau froide -Vapeur HP -Gaz naturel	-Huile alimentaire	-Bac tampon -Pompes d'alimentation -Economiseurs -Réchauffeurs -Refroidisseurs -Filtres de sécurité -Filtres de polissage -Désaérateur

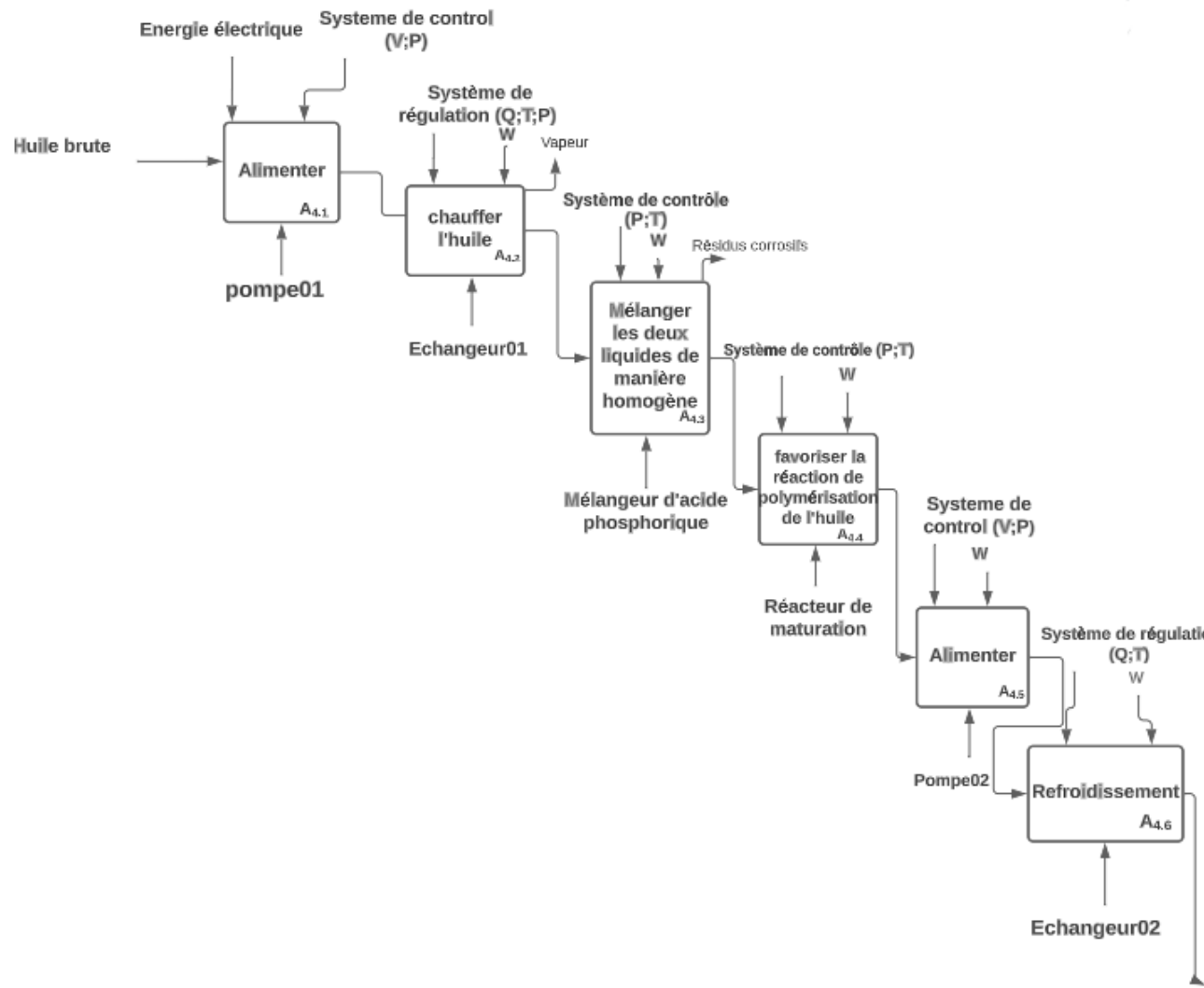
								-Colonne de distillation sous vide -chaudière -Bac d'acides gras
2	Stockage des produits chimiques	Produits chimiques	Produits chimiques	1	Bacs acide phosphorique H₃PO₄	-Acide phosphorique %	-Acide phosphorique %	-Bacs de stockage -Pompes -Vannes -Canalisations
				2	Bacs acide citrique	-Acide citrique %	-Acide citrique %	-Bac de stockage -Pompes -Vannes -Canalisations
				3	Bacs soude caustique NaOH	-Soude caustique %	-Soude caustique %	-Bacs de stockage -Pompes -Vannes -Canalisations
				4	Zone de stockage terre décolorante	-Terre décolorante activée	-Terre décolorante activée	-Conteneurs
3	Stockage des liquides gaz	Liquides gaz	Liquides gaz	1	Bacs huiles brutes	-Huile brute	-Huile brute à 25°C	-Bac de l'huile brute -Pompes -Vannes -Canalisation -Agitateurs électriques des bacs -Coffret prise

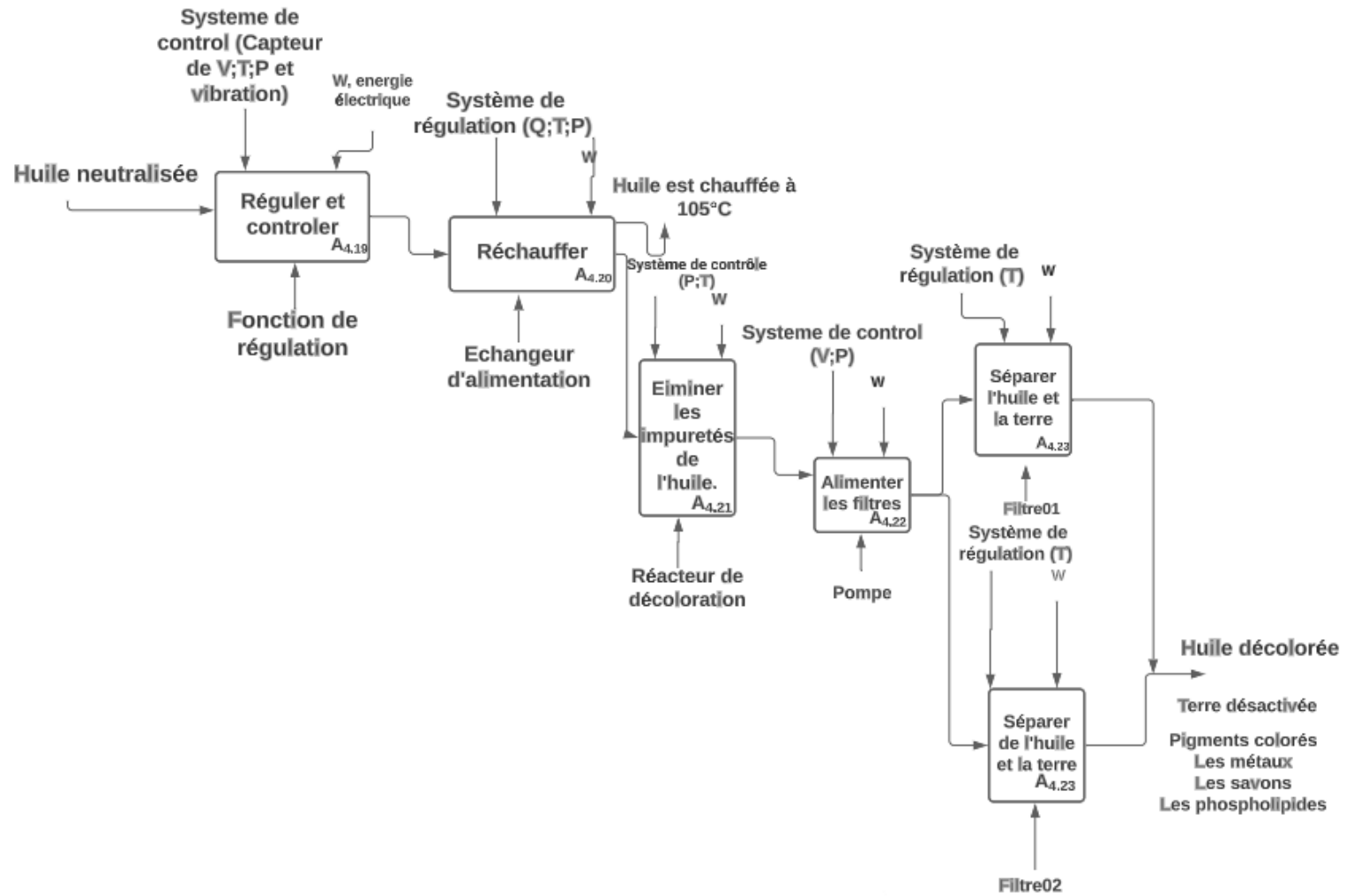
				2	Bacs huiles finies de 1000T	-Huile finie	-Huile finie	-Bac de l'huile brute -Pompes -Vannes -Canalisation -Agitateurs électriques des bacs -Coffret prise
				3	Ballons de stockage d'air	-Air	-Air	-Ballons d'air
				4	Station d'azote	-Azote	-Azote	-Compresseurs à vis - Sécheurs -Armoire -Vanneries -Ballons d'azote -Tuyauteries
				5	Station d'eau	-Eau	-Eau	-Réservoir d'eau
				6	stockage à gaz d'argon	-Argon	-Argon	Niche à gaz d'argon
4	Locaux administratifs	Informations	Décisions Rapports	1	Salles de contrôle	-Personnel	-Contrôle automatique	-Works station -Meubles bureaux -Armoire de climatisation - Onduleurs - Ecrans téléviseurs

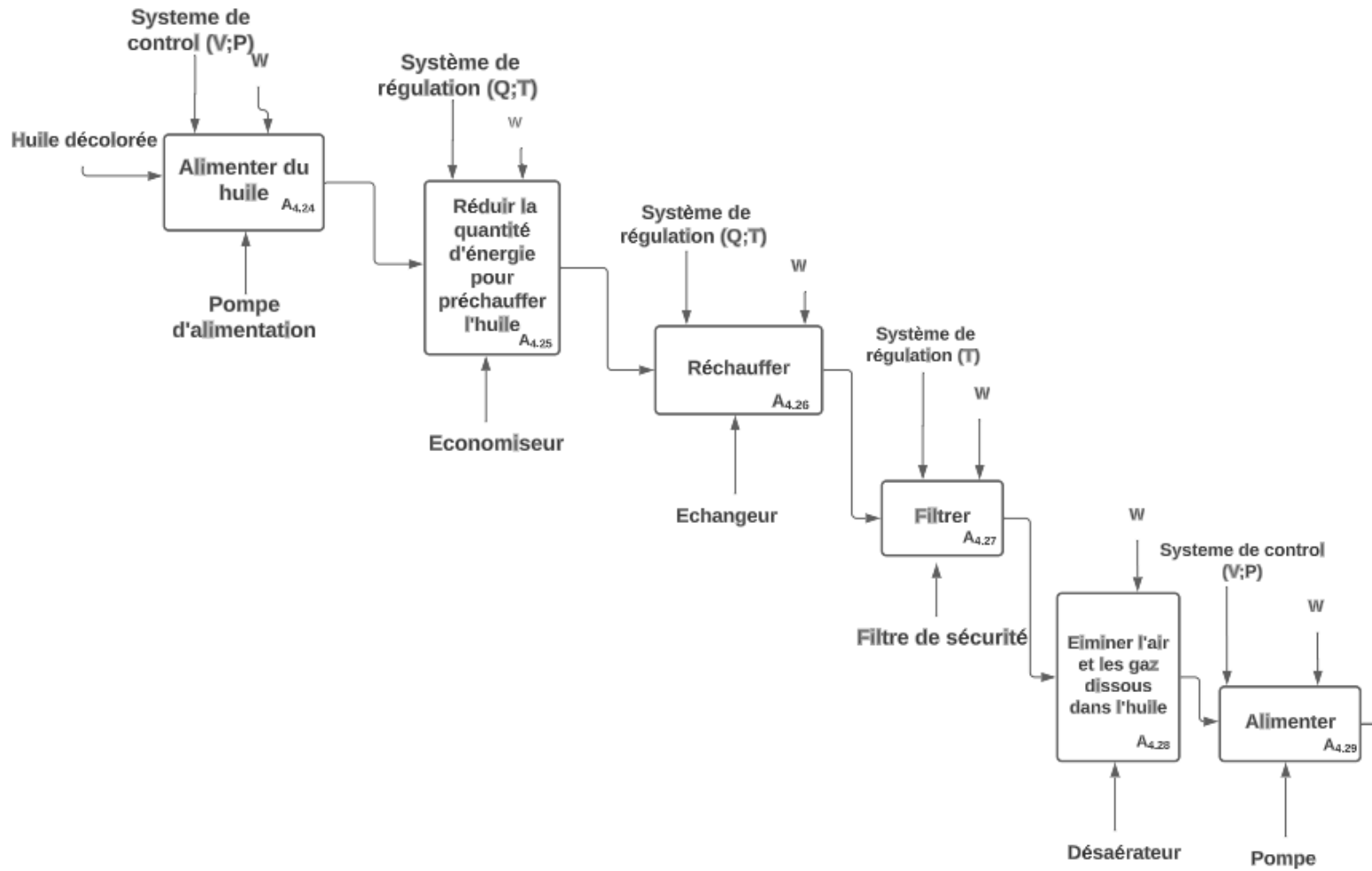
				2	Bureaux	-Administrateurs	-Contrôle administratif	-Papiers -climatisation -Imprimantes -Réfrigérateur -Rétroprojecteur
				3	Laboratoire	-Echantillon d'huile - Acide chlorhydrique "HCL" -Acide sulfurique "H2S04" -Acétone C3H6O -Soude caustique "NAOH"	-Contrôle qualité	-Immobilier -Four à moufle -Plaque chauffante -Hotte -Etuve

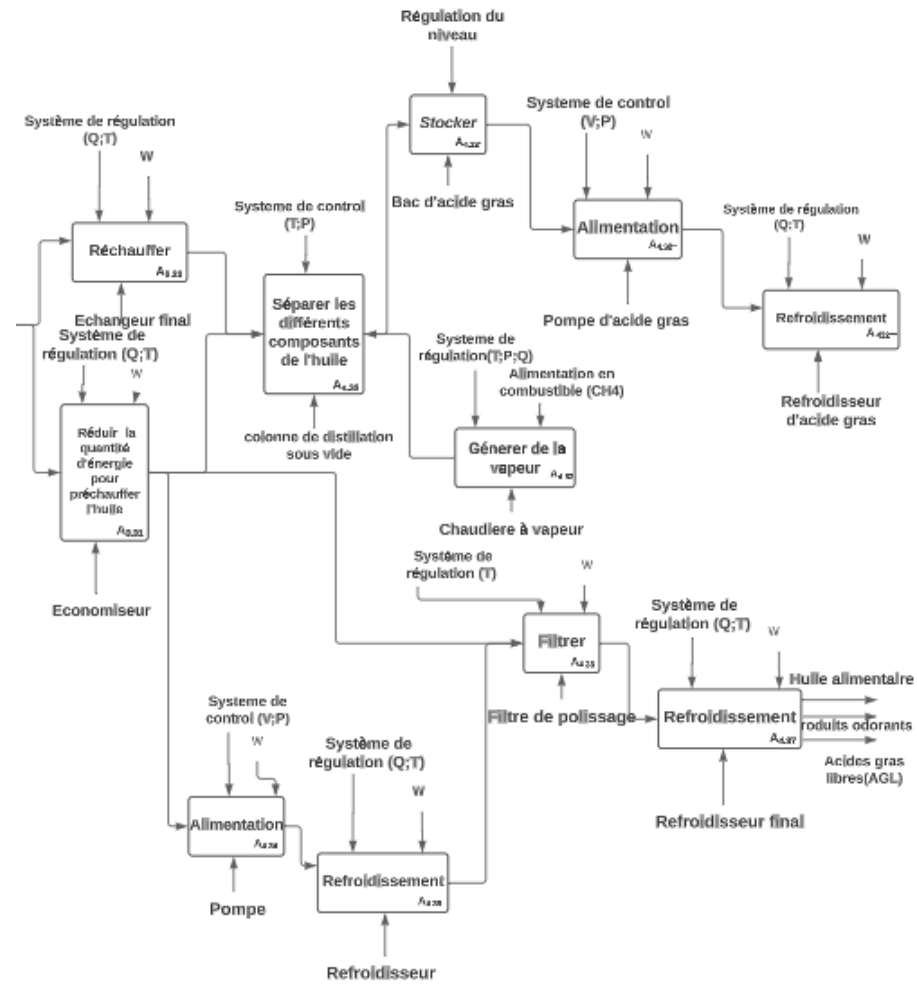
Annexe 2 :SADT









A₄

Annexe 3 :APR installation de raffinage de l'huile

APR installation de raffinage de l'huile													
Etape	SS	ED en mode fonctionnement	Evénement Redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesure de prévention	P'	Mesure de protection	G'	C'
		Pompe	Augmentation de la température	-Défaillance de la pompe -Phénomène de cavitation -Erreur technique	-Perte de la pompe -Perturbation de la production	3	3	9	-Maintenance régulière de la pompe -Audit technique interne	2	-Extincteurs -Arrêt d'urgence à distance de toutes les installations adjacentes	2	4
		Réchauffeur	Encrassement	-Manque d'entretien - Dépôts de calcaire (Eau salée)	-Fuite de l'huile -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive -Contrôle et Entretien périodique	2	-Déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	4	8
			Fuite de l'eau	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal -Corrosion	-Réduction de l'efficacité thermique -Augmentation des coûts d'entretien	3	2	6	-Contrôle CND -Traitement anti-corrosion	2	/	2	4
			Fuite dans la canalisation de huile	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Arrêt de la production -Produit contaminé -Perte de pression	3	3	9	-Contrôle CND -Maintenance préventive	2	/	3	6
		vanneries	Fuite	-Manque d'entretien -Vieillessement du métal - Corrosion	-Perte de pression -Perturbation de la production -Déversements de liquides ou de produits chimiques dans l'environnement -Pertes humaines	3	3	9	-Traitement anti-corrosion -Audit technique interne - Entretien régulier de l'équipement	2	/	3	6

N
e
u
t
r
a
l
i
s
a
t
i
o
n

1

Mélangeur acide/huile brute	Fuite	-Manque d'entretien -Veilleissement du métal - Corrosion	-Contamination environnementale -Risques pour la santé -Dommages matériels -Risques d'incendie et d'explosion	3	3	9	-Traitement anti-corrosion -Audit technique interne - Entretien régulier de l'équipement	2	Fermeture automatique des vannes	2	4
	Augmentation de la température au niveau du mélangeur (Surchauffe)	- Température de l'huile élevée - Excès de concentration de l'acide -défaillance de système de refroidissement	-Explosion -Pertes humaines -Arrêt de la production	3	4	12	-Contrôle automatique de débit de l'acide -Système de refroidissement	2	-Détection au niveau du tableau de commande - Arrêt d'urgence du mélangeur	2	4
Acide citrique	Fuite	-Erreurs humaines -Accident choc ou collision	-Brulure -Pertes matérielles -deversement de l'acide	3	3	9	- Sensibilisation du personnels - Maintenance préventive	2	-Port des EPI	2	4
Réacteur de maturation	Fuite	-Manque d'entretien -Veilleissement du métal -Corrosion	-Contamination environnementale -Risques pour la santé -Dommages matériels -Risques d'incendie et d'explosion	3	3	9	-Traitement anti-corrosion -Audit technique interne - Entretien régulier de l'équipement	2	/	3	6
	Fusion du coeur du réacteur	-Excès de charge -Surchauffe	-Pertes économiques -Perte du réacteur -Explosion	3	4	12	-Contrôle automatique de la quantité entrante - Système de refroidissement	2	/	4	8
Refroidisseur	Encrassement	-Manque d'entretien - Dépôts de calcaire (Eau salée)	-Fuite de l'eau -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	3	9	-Audit technique interne -Maintenance préventive	2	/	3	6
	Fuite	-Manque d'entretien - Eau salée -Corrosion	-Perte de l'efficacité de refroidissement -Augmentation des coûts d'entretien	3	2	6	-Contrôle CND -Traitement anti-corrosion	2	/	2	4
	Fuite dans la canalisation de huile	-Fissure -Perte de rigidité -Veilleissement du métal -Corrosion	-Arrêt de la production -produit contaminé	2	3	6	-Contrôle CND	1	/	3	3

	Mélangeur de soude/huile	Augmentation de la température	-Réaction exothermique	-Rupture de l'équipement -Risque incendie	2	3	6	-Système de refroidissement -contrôle de la concentration huile/soude	2	/	2	4
	Soude caustique	Fuite	-Erreurs humaines - Défaillance de l'équipement - Accident choc ou collision	-Brulure -Pertes matérielles -Pollution de l'environnement	3	3	9	- Sensibilisation du personnels - Maintenance préventive	2	/	3	6
	Cristalliseur	Accumulation de cristaux dans le cristalliseur	-Qualité de l'huile brute -Défaillance de l'équipement -Niveaux élevés d'acides gras saturés -Durée de la cristallisation	-Effet sur la qualité de l'huile -Dommage de cristalliseur -coûts élevé de nettoyage	2	2	4	-Maintenance préventive -Appareil de mesure de température	1	Système d'arrêt d'urgence	2	2
2	Séparateur centrifuge	Augmentation de la température (Surchauffe)	-Surcharge -Vitesse excessive -Défaillance les conduits de refroidissement -Mauvaise de lubrification	-Dommages matériel -Perte de production -Perte humaines	4	4	16	-Système de refroidissement - Contrôle automatique de la vitesse de vibrations - Maintenance préventive	3	/	4	12
3	Mélangeur de lavage	Perturbation de l'opération de lavage	-Température de l'eau injectée non adaptée (trop basse / chaude)	-Perte de qualité de l'huile raffinée	2	2	4	contrôler la température de l'eau injectée	1	/	2	2
		Fuite	-Manque d'entretien -Veillessement du métal - Corrosion	-Explosion -Pertes humaines -Arrêt de la production	2	3	6	-Contrôle CND -Traitement anti-corrosion	1	/	3	3
	Séparateur de lavage	Fuite	- Mauvaise étanchiété	-Perte de qualité de l'huile raffinée	3	2	6	Contrôle régulier des joints de séparateur	2	/	2	4
4	Sécheur sous vide	Augmentation de la température (Surchauffe)	- Dysfonctionnement du système de refroidissement	- Baisse de la production -Arrêt de la production pour réparation	3	2	6	-Audit technique interne -Maintenance préventive	2	/	2	4
		perte de confinement	-Perte de pression	-Endommager les équipements -coûts élevés de nettoyage -Altération de la qualité de l'huile - Atteinte des travailleurs	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive	2	/	4	8

			Fuite	-Perte de rigidité - - Vieillessement du métal - Fissures dans la canalisation	-Détérioration de la conduite -Pollution	3	3	9	-Contrôle CND - Maintenance préventive - Traitement anti- corrosion	2	EPI	2	4
D é	5	Réchauffeur	Encrassement	-Manque d'entretien - Dépot de Calcaire (Eau salée)	-Fuite de l'huile -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive -Contrôle et maintenance périodique	2	-Déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	4	8
			Fuite de l'eau	-Fissure ou Corrosion -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Réduction de l'efficacité thermique -Augmentation des coûts d'entretien	3	2	6	-Contrôle CND -Traitement anti- corrosion	2	/	2	4
			Fuite dans la canalisation de huile	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Arrêt de la production -Produit contaminé -Perte de pression	2	3	6	-Contrôle CND -Maintenance préventive	1	/	3	3
		Vanneries	Fuite	-Manque d'entretien -Vieillessement du métal - Corrosion	-Perte pression -Perturbation de la production -Déversements de liquides ou de produits chimiques dans l'environnement -Pertes humaines	2	3	6	-Traitement anti- corrosion -Audit technique interne - Entretien régulier de l'équipement	1	/	3	3
		Canalisation	Fuite	-Perte de rigidité - - Vieillessement du métal - Corrosion	-Détérioration de la conduite -Pollution	3	3	9	-Contrôle CND - Maintenance préventive - Traitement anti- corrosion	2	EPI	2	4
		Bac tampon	Déversement de l'huile neutralisée	-Corrosion -Fuite -Rupture	-Perte de l'huile neutralisé -Incendie -perte humaines	2	4	8	Revetement anti corrosion	1	/	4	4
			Encrassement	-Manque d'entretien - Dépôts de calcaire (Eau salée)	-Fuite de l'huile -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive -Contrôle et maintenance périodique	2	/	4	8

6	Réchauffeur d'alimentation	Fuite de l'eau	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Réduction de l'efficacité thermique -Augmentation des coûts d'entretien	3	2	6	-Contrôle CND -Traitement anti-corrosion	2	/	2	4
		Fuite de la canalisation huile	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Arrêt de la production -Produit contaminé -Perte de pression	3	3	9	-Contrôle CND -Maintenance préventive	2	/	3	6
	Doseur de terre décolorante	Dysfonctionnement du Doseur	-défaillance des composants -Mauvaise maintenance -Erreur humaine -Mauvaise conception	-Effet sur la qualité de l'huile -Gaspillage de la terre décolorante	2	3	6	-Formation du personnel -Etalonnage des instruments de mesures	1	/	3	3
	Réacteur de décoloration	Accumulation de vapeurs inflammables	-Pression excessive -Mauvaise ventilation -Utilisation excessive de solvants	-Inflammation et Incendie -Pertes humaines -Arrêt de la production	3	4	12	-contrôle automatique de l'utilisation des solvants -Maintenance des systèmes de ventilation	2	/	4	8
	Filtres Niagara	Rupture du filtre	- Pression excessive -Mauvaise maintenance -Manipulation incorrecte	- Risque d'incendie -Contamination de l'environnement (Dispersion de la terre décolorante) - Cout de maintenance	3	4	12	-Contrôle de pression -Formation du personnel	2	-Soupapes de sécurité	3	6
		Accumulation de la terre décolorante	-Erreurs techniques -Dysfonctionnement du trémie de décharge de terre décolorante	-Interruption de la filtration -Détérioration des filtres -Contamination de l'huile	3	3	9	-Maintenance préventive -Surveillance automatique	2	/	3	6
	Trémie de décharge de terres	Accumulation de la terre décolorante	Débit de la trémie -erreur humaine -Conditions environnementales	-Interruption de la production - Augmentation des coûts de maintenance -BLocage ou l'obstruction de la trémie	2	3	6	-Système d'alarme -Surveiller les niveaux de remplissage	1	/	3	3
	Terre décolorante	Augmentation de la température dans la zone de décharge	-Conditions de décharge non adaptés -La non prise en compte de la température de la zone -Présence d'une source de chaleur -Erreurs humaines	-Inflammation et Incendie -Contamination de l'environnement -Pertes humaines	3	4	12	-Sensibilisation du personnel -Refroidissement a l'eau	2	/	4	8

D é s o r i s a t i o n	7	Economiseur	Fuite	-Fissure ou Corrosion -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Réduction de l'efficacité thermique -Augmentation des coûts d'entretien	2	2	4	Traitement Anti corrosion	1	/	2	4
		Réchauffeur	Encrassement	-Manque d'entretien -Dépôts de calcaire(Eau salée)	-Fuite de l'huile -Réduction de la durée de vie l'équipement -Risque d'incendie -Arrêt de la production	3	4	12	-Audit technique interne -Maintenance préventive -Contrôle et maintenance périodique	2	-Déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	3	6
			Fuite de l'eau	-Fissure ou Corrosion -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Réduction de l'efficacité thermique Augmentation des coûts d'entretien	2	2	6	-Contrôle CND -Traitement anti-corrosion	1	/	2	2
			Fuite de la canalisation huile	-Fissure -Perte de rigidité -Vieillessement du métal	-Arrêt de la production -Produit contaminé -Perte de pression	3	3	9	-Contrôle CND -Maintenance préventive	2	/	3	6
		Filtres de polissage	Rupture du filtre	- Pression excessive -Mauvaise maintenance -Manipulation incorrecte	-Interruption de la filtration -Détérioration des filtres -Contamination de l'huile -Déversement	2	3	6	-Fomartion de l'équipe de maintenance -controle de pression	1	/	3	3
		Pompes d'alimentation	Electrisation	Court-circuit	-Perte Humaines -Perte de la pompe -Arrêt de la production	2	3	6	Mise a la terre	1	/	3	3
		Désaérateur	Augmentation de la température (Surchauffe)	-Débit d'eau insuffisant	-Perte Humaines -Perturbation de la production -Incendie	3	3	9	-Maintenance préventive -Audit technique	2	/	3	6
			Accumulation de vapeurs inflammables (Surpression)	-Mauvaise régulation de la pression -Dysfonctionnement de l'équipement	-Perte Humaines -Perturbation de la production -Incendie	3	3	9	-Maintenance préventive -Audit technique -Régulateur de pression	2	/	3	6
		Bac d'acides gras	Fuite d'acide	-Conditions environnementales -Corrosion -Vieillessement du métal	-Pollution Perturbation de production -Brulures	2	3	6	-Traitement anti corrosion	1	/	3	3

Chaudiere	Surchuffe de l'eau ou vapeur	-Pompes d'alimentation en arret - Erreur humaine -défaillance de la régulation du niveau d'eau	- Explosion -Pertes Humaines -Dommages des équipements -éclatement de la calandre	4	5	20	-Soupapes de surcharge et de sécurité - Maintenance préventive -Audit technique	3	/	5	15
	Fuite de gaz	Problème avec le régulateur de pression de gaz -Défaillance de la soupape de décharge de pression	-Explosion Arret de la production. -Perte humaines et matérielles	4	5	20	-Maintenance préventive -Audit technique -soupape de sécurité -Détecteur de gaz	3	/	5	15
Colonne de désodorisation sous vide	Perte de confinement	-Pression excessive	-Pertes matérielles Arret de la production	3	4	12	-Maintenance préventive. Audit technique. -Soupapes de décharge	2	/	4	8
	Augmentation de la température (Surchauffe)	-Défaillance dans le système de chauffage.	-Pertes matérielles - Affection de la qualité de l'huile	2	3	6	-Maintenance préventive. Audit technique. -Soupapes de décharge	1	/	3	3

Annexe 4 :APR Stockage des produits chimiques

APR Stockage des produits chimiques												
SS	ED en mode fonctionnement	Événement Redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesure de prévent	P'	Mesure de protection	G'	C'
1	Bacs d'acide phosphorique H3PO4	Fuite de l'acide	-Emplacement humide -Veillissement du bac -Corrosion	-Pollution -Brulure -Détérioration des équipements adjacents	2	3	6	-Maintenance préventive -Dépollution du sol -Control visuelle	2	-Traitement anti corrosion	2	4
		Rupture	-Corrosion -Faissures	Brulure -Pertes matérielles	2	4	8	-Maintenance préventive -Dépollution du sol -Control visuelle	1	-Traitement anti corrosion	4	4
2	Bacs acide citrique C6H8O7	Fuite de l'acide	-Emplacement humide -Veillissement du bac -Corrosion	-Pollution -Brulure -Détérioration des équipements adjacents	3	3	9	-Maintenance préventive - Dépollution du sol - Control visuelle	2	-Traitement anti corrosion	2	4
		Rupture	-Corrosion -Faissures	-Brulure -Pertes matérielles	2	4	8	-Maintenance préventive - Dépollution du sol	1	-Traitement anti corrosion	4	4
3	Bacs soude caustique NaOH	Fuite de la soude	-Emplacement humide -Veillissement du bac -Corrosion	-Pollution -Brulure -Détérioration des équipements adjacents	3	3	9	-Maintenance préventive - Dépollution du sol - Control visuelle	2	-Traitement anti corrosion	2	4
		Rupture	-Corrosion -Faissures	-Pollution -Brulure -Détérioration des équipements adjacents	2	3	6	-Maintenance préventive - Dépollution du sol	1	-Traitement anti corrosion	3	3

4	Conteneurs de stockage terre décolorante activée	Desperssion de la terre décolorante	-Présence du vent dans la zone	-L'hinalation de la poussière toxique -Pollution de l'environnement	3	3	9	Stocker la terre dans un espace confiné	2	EPI contre la poussière	2	4
5	Conteneurs de stockage terre décolorante usée	Augmentation de la température dans la zone de stockage	-Présence d'une source de chaleur -Température élevée de la terre décolorante -Déspersion de la terre décolorante dans la zone	-Pertes humaines - Inflammation et Incendie -Détérioration des équipements adjacents	3	4	12	-Sensibilisation du personnel	2	/	4	8

Annexe 5 :APR Stockage des liquides gaz

APR Stockage des liquides /gaz												
SS	ED en mode fonctionnement	Evènement Redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesure de prévention	P'	Mesure de protection	G'	C'
1	Bacs huile brute	Fuite	-Emplacement humide -Veillissement du bac ou Corrosion -Conditions environnementaux	-Risque Incendie -Pollution de l'environnement -Couts de Nettoyage	2	4	8	-Traitement Anti corrosion - Protection cathodique	1	-Système anti incendie interne -déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	3	3
		Rupture	-Corrosion -Fissures	-Diversement de l'huile dans le sol de la raffinerie -Dommage du Bacs - Perte économique -Risque Incendie	2	4	8	-Traitement Anti corrosion -Protection cathodique -Controler le niveau de remplissage du Bacs	1	-Système anti incendie interne -déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	3	3
2	Bacs de l'huile finie	Fuite	-Emplacement humide -Veillissement du bac ou Corrosion -Conditions environnementaux	-Pollution de l'environnement - Couts de Nettoyage	2	2	4	-Traitement Anti corrosion - Protection cathodique	1	-Système anti incendie interne -déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	2	2
		Rupture	-Corrosion -Fissures	-Diversement de l'huile dans le sol de la raffinerie - Dommage du Bacs - Perte économique - Risque Incendie	2	4	8	-Traitement Anti corrosion -Protection cathodique -Controler le niveau de remplissage du Bacs	1	-Système anti incendie interne -déclenchement du plan de réponse aux situations d'urgence	3	3
3	Ballons de stockage d'air	Rupture	-Corrosion -Fissures	-Perte de pression -Perte humaines -dommages matériels	2	4	8	-Maintenance préventive. - Traitement anti corrosion	1	/	4	4
	Ballons d'azote	Rupture	-Corrosion Fissures	-Perte de pression -Perte humaines -Dommages matériels	2	4	8	-Maintenance préventive. - Traitement anti corrosion	2	/	4	8

4	Tuyauteries	Fuite	-Corrosion Fissures	-Dispersion de l'azote -Perte de pression -Perte humaines -Dommages	3	4	12	-Contrôle CND -Maintenance préventive -Traitement anti-corrosion	2	EPI	3	6
		Fuite	-Corrosion Fissures	-Perte de pression -Perte humaines -Dommages matériels	3	3	9	-Contrôle CND -Maintenance préventive -Traitement anti-corrosion	2	EPI	2	4
	Vanneries	Fuite	-Manque d'entretien -Veilleissement du métal ou Corrosion	-Perte pression -Perturbation de la production -Déversements de liquides ou de produits chimiques dans	3	2	6	-Traitement anti-corrosion -Audit technique interne -Entretien régulier de l'équipement	2	/	2	4
	Compresseurs à vis	Fuite de gaz	-Veilleissement du métal -Conditions environnementales	-Explosion. -Pertes matérielles. -Pertes humaines	3	5	15	-Traitement anti-corrosion -Audit technique interne -Entretien régulier de l'équipement	2	-Système anti incendie interne	4	8
5	Réservoir d'eau	Perte de confinement	-Fissure du réservoir -Fuite	-Déversement et perte de charge	2	2	4	-Contrôle visuelle -Mise en place d'un détecteur de fuite	1	/	2	2
6	Niche à gaz d'argon	Dispersion du gaz	-Erreurs humaines -Travail à point chaud -Fuite	-Pertes humaines -Impacts environnementaux	2	4	8	-Sensibilisation du personnel -Mise en place d'un détecteur de fuite	1	/	4	4

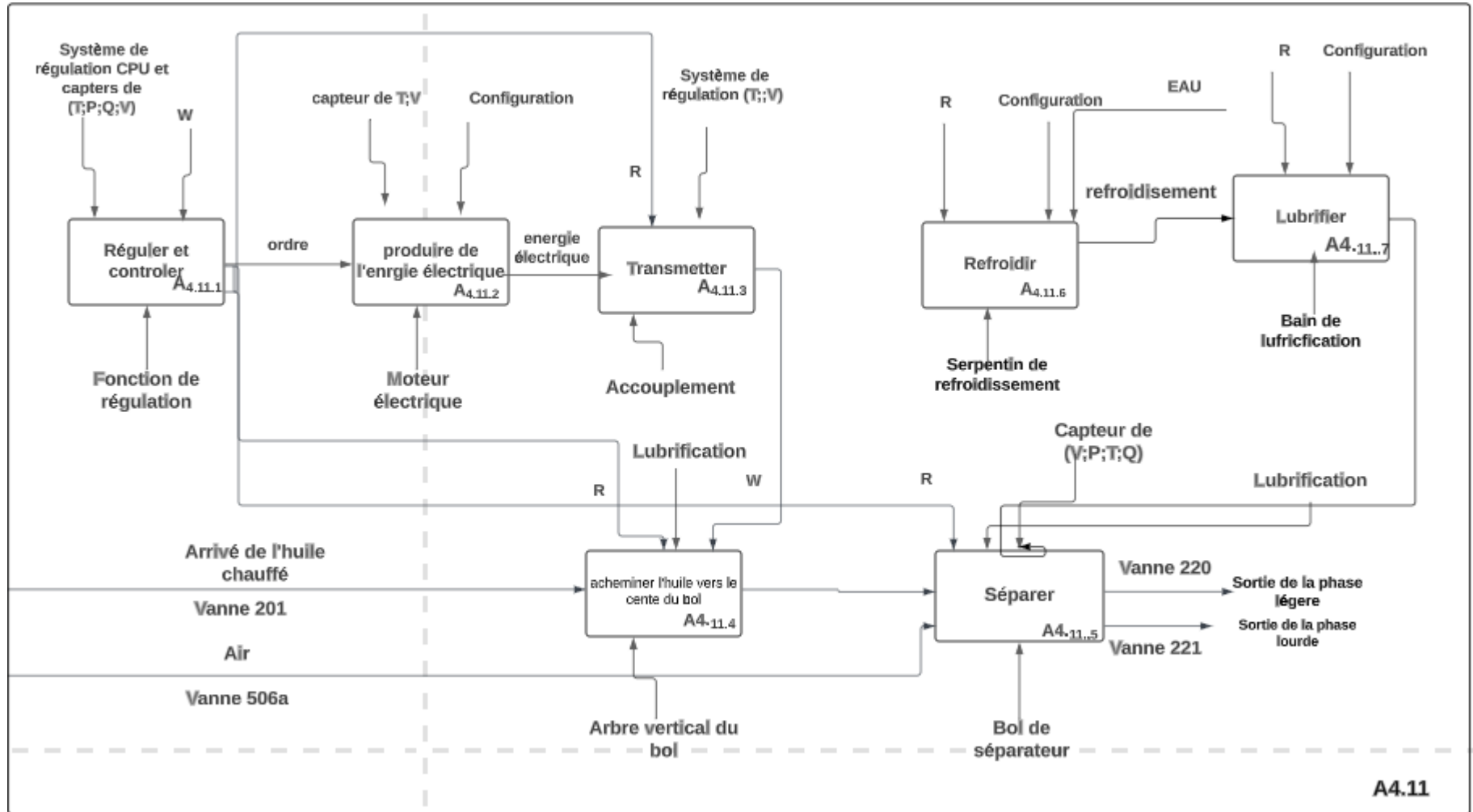
Annexe 6 :APR locaux administratifs et de control

APR Locaux administratifs et de control												
SS	ED en mode fonctionnement	Evénement Redouté	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesure de préven	P'	Mesure de protection	G'	C'
1	Electricité	Surcharge électrique	- Chute de tensions - Erreur humaines	-Risque incendie -Perte du matériels -Court circuit	2	3	6	-Mise à la terre	1	-Systeme de detection	2	2
2	Electricité	Surcharge électrique	- Chute de tensions - erreur humaines	-Risque incendie -Perte du matériels -Court circuit	2	3	6	-Mise à la terre	1	-Systeme de detection	2	2
	Acide sulfurique "H2S04"	Fuite	-Erreurs humaines -Défaillance du matériel	-Brulures -Incendie -Pertes humaines	2	4	8	-Formation du personnel -Maintenance et inspection périodique	1	-Port des EPI -Extincteurs	3	3
	Acétone C3H6O	Déversement	-Erreurs humaines -Fuite -Défaillance du matériel	-Brulures -Incendie -Pertes humaines	2	4	8	-Formation du personnel -Maintenance et inspection périodique	1	-Port des EPI -Extincteurs	3	3

3	Soude caustique "NAOH"	Fuite	-Erreurs humaines -Défaillance du matériel	-Brulures -Incendie -Pertes humaines	2	4	8	-Formation du personnel - Maintenance et inspection périodique	1	-Port des EPI -Extincteurs	3	3
	Acide chlorhydrique "HCL"	Fuite	-Erreurs humaines -Défaillance du matériel	-Brulures -Incendie -Pertes humaines	2	4	8	-Formation du personnel - Maintenance et inspection périodique	1	-Port des EPI -Extincteurs	3	3
	Four à moufle	Augmentation de la température (Surchauffe)	-Problèmes de calibrage	- Risque Incendie -Dommages matériels	2	4	8	-Formation du personnel - Maintenance et inspection périodique	1	/	4	4
	Plaque chauffante	Court circuit	-Chute de tension -Surcharge	Incendie Dommages matériels	2	4	8	-Formation du personnel - Maintenance et inspection périodique	1	/	4	4

Annexe 7 :SADT Séparateur

154



Annexe 8 :AMDEC séparateur

Sous système	Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	P	G	D	C	Mesures correctives
Régulation et mesure	Variateur de vitesse	Régulation	Arrêt soudain	-Panne d'alimentation électrique - Court-circuit -Défaillance du circuit de contrôle	-Arrêt complet du séparateur -Perte de contrôle et régulation de vitesse -Dommages au moteur du séparateur	3	4	1	12	Vérification et réglage périodique du variateur
			Variation de vitesse incohérente	-Problèmes dans les capteurs de vitesse ou les algorithmes de contrôle		3	4	1	12	Vérification périodique des algorithmes de contrôle
	Fusible à percuteur	Protection des circuits électriques	Fonctionnement intermittent	-Surintensité prolongée ou excessive -Court-circuit -Usure du fusible	-Endommagement des équipements électriques -Arrêt de certains équipements ou systèmes connectés à ce circuit.	1	3	1	3	Changement de fusible à percuteur
	Contacteur	Commande à distance	Perte de la fonction commande	-Défaut de contact -Contact usés -Courant de charge élevée -Surintensités et courants de démarrage	- Résistance électrique accrue et une mauvaise connectivité -Surchauffe -Défaillance complète	1	3	2	6	Serrage périodique de contacteur

Disjoncteur	Protection des équipements électriques	Déclenchement de manière inappropriée	-Défaut de réglage - Sensibilité excessive du dispositif de détection de surintensité -Dysfonctionnements internes	-Arrêts fréquents et interruption du fonctionnement du séparateur	1	3	1	3	Changement périodique de disjoncteur
		Arrêt soudain	-Court-circuit -Courant de charge élevée - Usure des contacts	-Surchauffe -Arrêt fréquent -Endommagement des composants électriques de l'équipement	1	3	2	6	
Bouton poussoir	Mise en marche	Blocage	-Dysfonctionnement mécanique interne -Accumulation de saleté -Corrosion	-Impossibilité de démarrer ou d'arrêter le séparateur	2	2	1	4	Changement de bouton poussoir
Automate CPU	Régulation et commande	Alarmes et notifications incorrectes ou Arrêt de fonctionnement	-Défaillance des capteurs -Erreurs de programmation -Mauvaise calibration	-Mesures incorrectes - Perte de communication - Mauvaise régulation du séparateur centrifuge -Perte de contrôle des équipements	3	3	3	27	-Vérification et réglage de l'automate -Changement périodique de l'automate
Relais thermique	Protection du moteur	Non-déclenchement ou déclenchement retardé	-Dysfonctionnement des capteurs de température -Contact défectueux	-Température excessives dans le moteur de séparation -Dommages thermiques -Surchauffe du moteur	2	2	1	4	/

	soupape à pointeau	Régulation de débit d'air	Arrêt de fonctionnement	-Usure -Fatigue du matériau	-Perte de la fonction réglage d'air	2	2	2	8	
	Fils	Alimentation et Commande	Coupure	-Durée de vie des câbles -Effets environnants	-Perte de contrôle et commande -Pas d'alimentation	2	3	2	12	Changement des Fils
	Capteur de température	Mesure et surveillance	Déviaton de la précision	-Détérioration du capteur -Conditions environnementales -Défaillance de lecture	-Erreurs de mesure de température.	2	1	2	4	Etalonnage de Capteur
			Arrêt de fonctionnement	-Vieillessement et usure -Surcharge thermique -Défaillance de connexion	-Perte de mesure de température	2	1	2	4	
	Capteur de vitesse	Mesure et surveillance	Arrêt de fonctionnement	-Défaillance de l'alimentation électrique -Vieillessement et usure	-Perte de mesure de vitesse	1	1	2	2	Etalonnage de Capteur
			Déviaton de la précision	-Détérioration du capteur -Conditions environnementales -Défaillance de lecture	-Erreurs de mesure de vitesse.	1	1	2	2	
	Capteur de vibration	Mesure et surveillance	Arrêt de fonctionnement	-Défaillance de l'alimentation électrique -Vieillessement et usure	-Perte de mesure de vibration	2	1	2	4	Etalonnage de Capteur
			Déviaton de la précision	-Détérioration du capteur -Conditions environnementales	-Erreurs de mesure de vibration	2	1	2	4	

	Indicateur de pression	Mesure	Arrêt de fonctionnement	-Défaillance de l'alimentation électrique -Vieillessement et usure	-Pression non contrôlée	2	2	2	8	Etalonnage de l'indicateur de pression
			Déviations de la précision	-Détérioration de l'appareil -Conditions environnementales	-Erreurs de mesure de pression	2	2	2	8	
	Détecteur de flamme	Détection de flamme	Perturbation de la Détection	- Réglages incorrects du détecteur -Dégradation de la sensibilité -Défaillance des composants électroniques	-Apparition Faux positifs ou faux négatifs -Risque sur la sécurité de l'équipement -Risque incendie	2	4	2	16	Vérification périodique de l'état du détecteur
Transmission et Entraînement	Stator	Entraînement	Entraînement Perturbé	-Vibrations excessives -Dégradation de l'isolation -Court-circuit - Désalignement rotor/stator -Enroulements endommagés	-Panne du Stator -Perte de puissance -Perturbations du processus de séparation	1	3	3	9	/
	Rotor	Assure le mouvement de rotation	Perturbation de la fonction	-Usure asymétrique ou de dommages structurels -Désalignement rotor/stator	-Vibrations excessives -Usure des paliers et des garnitures d'étanchéité	1	3	2	6	Equilibrage de rotor
	Paliers	Support du rotor	Défaillance structurelle	-Suppression -Manque de lubrification -Défaut de maintenance	-Augmentation de la température -Vibration et instabilité	2	2	2	8	Maintenance Systématique Graissage

	Roue hélicoïdale	Transmission de puissance de l'arbre horizontal vers le vertical	Pas de transmission	-Manque de lubrification -Charges excessives -Usure ou blocage -Rupture	-pas de génération de mouvement rotatif dans le bol -Arrêt de la production	1	3	3	9	Changement de flasque
	Balais	Insertion des résistances de démarrage avec les roulements	Fonctionnement irrégulier	-Usure -Encrassement	-Variations de vitesse -Coupures intermittentes ou des étincelles	3	2	2	12	Surveillance et contrôle régulier
	Roue denté	Transmission de puissance	Transmission irrégulière	-Surcharge -Manque de lubrification -Usure	-Mauvaise ou pas de transmission de puissance -Augmentation de la charge sur les autres composants -Bruit -Séparation perturbé	2	3	3	18	-Vérifier la lubrification -Eliminer les jeux
	Arbre horizontal et vertical	Transmission du mouvement rotatif	Pas de transmission	-Surcharge -Corrosion -Fatigue des matériaux -Manque de lubrification	-Arrêt de l'équipement de séparation (Bol)	1	4	3	12	Réglage de l'arbre et vérifier la lubrification
	Réducteur de vitesse	Réduction de la vitesse de rotation	Arrêt soudain	-Capteur de température -Rupture mécanique	-Augmentation de la vitesse de séparation -Bruit -Vibrations -Perte de confinement	3	4	2	24	/

	Roulement	Support de charge et vibration	Fonctionnement irrégulier	-Mauvaise lubrification -Manque d'entretien	-Possibilité d'arrêt du séparateur -Désalignements des autres composants du séparateur -Vibrations excessives	2	3	2	12	Contrôle du système de lubrification
	Pignon	Transmission de puissance	Transmission perturbée	-Manque de lubrification -La durée de vie du composant	-Augmentation de la vibration et du bruit -Mauvaise transmission de puissance	2	3	2	12	Vérification le système de lubrification
	Vis sans fin	Guide de sortie de séparation de matière	Fonctionnement perturbé	-Surcharge -Manque de lubrification -Corrosion -Fatigue du matériau	-Perte de séparation -Dommages aux autres équipements	2	3	1	6	Vérification le système de lubrification
	Accouplement	Transmission de puissance	Pas de Transmission	-Surcharge -Corrosion ou Rupture -Manque de lubrification -Fatigue du matériau	-Pas de transmission -Vibration -Arrêt de séparation	2	3	2	12	Vérifier la lubrification Changement des pièces
Séparation	Bol	Séparation	Fonctionnement perturbé	- Déformation ou dommages du bol -ne reçoit pas une puissance suffisante -Usure des joints -Corrosion du bol Manque de lubrification	-Perturbation du processus de séparation - Fuite et Perte de confinement du séparateur	2	4	3	24	Vérification de la lubrification Changement des joints
			Blocage	-Accumulation des pates -Problème de lubrification -Erreurs humaines	-Arrêt de séparation -Surpression -Surchauffe dans le séparateur	2	3	3	18	

	Piston	Aide à la séparation	Fonctionnement perturbé	-Problèmes de lubrification -Fuites d'étanchéité -Vitesse excessives -excès de vibration	-Mauvaise séparation et surchauffe dans le séparateur -Perte de confinement au séparateur	2	4	3	24	Vérification de la lubrification
	Assiette	Séparation	Déformation structurelle	-Obstruction par des particules et Rupture -Corrosion Des joints défectueux ou endommagés	-Baisse de l'efficacité de la séparation -Perte de productivité et perturbation du processus	2	4	2	16	Changement des joints
	Centrizoom	Evacuation de la phase lourde de l'huile	Fonctionnement irrégulier	-Dysfonctionnement du positionneur pneumatique -Problèmes de transmission-Défaillance des capteurs ou des dispositifs de rétroaction -Défaillance du système de contrôle	-Mauvaise régulation de l'interface liquide légère-lourde -Mauvaise évacuation de la phase lourde de l'huile -Surchauffe du séparateur	3	3	3	27	Entretien de centrizoom Vérification de la commande de centrizoom
	Turbine Centripète	Evacuation de la phase légère de l'huile	Fonctionnement irrégulier	Défaillance de la pompe d'évacuation	-Surchauffe du séparateur -pas d'évacuation de la phase légère de l'huile	2	3	3	18	

	Clapet	Vidange	Blocage	-Corrosion -Problèmes de pression ou débit	-Perturbation de la vidange -Perte de performance du système.	2	3	3	18	
	Electrovannes (vanne 201, 220,221)	Régulation du débit	Blocage en position ouverte	-Défaillance de l'automate (CPU) -Usure mécanique	-Perturbation du débit -Fuite -Compromettre les performances du système global	2	3	2	12	Contrôle des électrovannes
			Blocage en position fermée	-Défaillance du système de contrôle (CPU) -Usure mécanique	-Accumulation de l'huile -Surpression -Perte de confinement -Arrêt du flux d'huile	2	3	2	12	
	Distributeur	Répartition du flux de l'huile	Blocage	-Accumulation de débris	-Interruption du flux d'huile	1	0.3	2	6	/
	Soupape de sécurité	Décharge de pression	Blocage ou Fonctionnement perturbé	- défaillance de système de régulation -Rupture mécanique des composants interne	-Surpression -perte de confinement	3	3	2	18	Changement de soupape selon la durée de vie de l'équipement

	Réservoir d'air	Stabilisation de la pression	Mauvais fonctionnement	-Joints défectueux -Pression excessive -Vibrations ou choc mécanique	-Perte de pression -Diminution de l'efficacité de séparation	1	3	3	9	Contrôle CND
Lubrification et refroidissement Étanchéité	Détendeur d'eau	Refroidissement	Ne refroidit pas	-Joints défectueux -Vibrations ou choc mécanique	-Perte de pression -Diminution du débit d'eau -Surchauffe du séparateur	3	3	3	27	Contrôle CND
	Amortisseur en caoutchouc	Limite la propagation des vibrations	Perte de fonction	-Rupture mécanique -Usure	-Propagation des vibrations -Perturbation de la séparation	1	3	2	6	
	Bain d'huile	Lubrification	Lubrification perturbée	-Joints défectueux -Fuite de l'huile de lubrification -défaillance de serpentin de refroidissement	-Lubrification insuffisante -Pollution environnementale Perturbation de la séparation -Surchauffe Déformation de l'arbre du bol -déformation de la roue hélicoïdale	2	3	3	18	Changement des Joints
	Serpentin	Refroidissement	Ne refroidit pas	-Corrosion -Usure mécanique -Manque d'eau de refroidissement	-l'huile de non refroidit lubrification -Surchauffe -déformation des composants	2	3	2	12	Contrôle CND

	Ventilateur	Refroidissement	Fonctionnement irrégulier	-Usure des roulements -Défaillance du moteur	- Fonctionnement irrégulier -Vibrations excessives -Arrêt complet du ventilateur -Surchauffe du séparateur	1	3	2	6	Entretien et maintenance Préventive
	Joints	Etanchéité	N'assure pas l'étanchéité	-Frottements et mouvements répétitifs -Pression et température élevée -Défaut de lubrification	-Fuites d'huile -Perte de confinement du séparateur	3	4	3	36	Vérification de la lubrification -Changement de joint
	Anneau de serrage	Fixation	N'assure pas la fixation	Rupture	Rupture de corps du bol	1	4	1	4	Contrôle régulier
	Silencieux	Etanchéité	N'assure pas l'étanchéité	-Détérioration -Usure	-Bruit -Perte de pression d'air	1	3	2	6	Contrôle régulier
	Vanne Sortie du liquide d'étanchéité 616	Lubrification	Blocage	-Corrosion -Usure mécanique -Accumulation des débris	-Manque de liquide de maintien d'étanchéité - Mauvaise séparation phase lourde-Légère	2	2	2	8	Nettoyage régulier
	Vanne d'entrée du liquide d'étanchéité 615	Lubrification	Ne s'ouvre pas complètement	-Corrosion -Usure mécanique -Accumulation des débris						

	Garniture mécanique	Etanchéité	N'assure pas l'étanchéité	-Corrosion -Usure et détérioration	-Fuite de l'huile -Perte de confinement du séparateur	3	4	3	36	-Contrôle du système de refroidissement et le système de lubrification
--	----------------------------	------------	---------------------------	---------------------------------------	--	---	---	---	----	--

Nœud 01: Circuit eau (de l'échangeur de chaleur vers la chaudière)					
Paramètre: Pression					
Mot-clé	Déviations	Causes	Conséquences	Détection /Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haute pression	<ul style="list-style-type: none"> -Défaillance Vanne de régulation d'entrée d'eau -Restriction du circuit d'eau -Augmentation de la température de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Rupture ou éclatement des conduites du circuit d'eau et fuite de l'eau - Fissure des joints -Déformation du serpentin et fuite d'eau à l'intérieur de la chaudière 	<ul style="list-style-type: none"> -Régulateur de pression -Alarme de haute pression -Soupape de sécurité - Manomètre 	<ul style="list-style-type: none"> -Maintenance préventive / corrective
Moins de	Basse pression	<ul style="list-style-type: none"> -Blocage de la Vanne de régulation d'entrée d'eau -Fuite dans le circuit d'eau ou rupture des conduites - Fuite de l'échangeur de chaleur -Régulateur de pression défaillant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt du process -Risque de Surchauffe suite à une diminution de niveau d'eau dans la chaudière - Arrêt du brûleur 	<ul style="list-style-type: none"> -Sonde de niveau d'eau -Commutateur de niveau bas du débit d'eau -Régulateur de pression -Contrôle visuel ou par appareil l'état de circuit d'eau (Opérateur) -Alarme de basse pression 	<ul style="list-style-type: none"> -Maintenance préventive / corrective -Mise en place d'un Clapet anti-retour

Nœud 01: Circuit d'eau (de l'échangeur de chaleur vers la chaudière)**Paramètre: débit**

Mot-clé	Déviations	Causes	Conséquences	Détection / Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haut débit	<ul style="list-style-type: none">-Rupture de la vanne d'entrée d'eau- Mauvaise régulation de débit-Augmentation de pression d'eau dans le circuit	<ul style="list-style-type: none">-Augmentation de la pression-Risque de rupture ou éclatement des conduites d'eau et fuite d'eau-Perte de l'efficacité thermique	<ul style="list-style-type: none">-Sonde de débit-Pressostat-Alarme	<ul style="list-style-type: none">-Maintenance préventive / corrective
Moins de	Bas débit	<ul style="list-style-type: none">-Vanne bloquée en mode semi fermée-Régulateur Défaillant- Rupture ou fuite des conduites du circuit	<ul style="list-style-type: none">-Endommagement de la chaudière- Arrêt du brûleur-Risque de Surchauffe des composants de la chaudière- Diminution de la quantité de vapeur produite	<ul style="list-style-type: none">-Pressostat et alarme-Sonde de débit-Inspection visuelle périodique de l'état des conduites et vannes (opérateur)-Détecteur de niveau de la bache à eau	<ul style="list-style-type: none">-Maintenance préventive/ corrective

Nœud 01: Circuit d'eau (de l'échangeur de chaleur vers la chaudière)					
Paramètre: Température					
Mot-clé	Déviatiion	Causes	Conséquences	Détection /Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haute température	-Mauvais transfert de chaleur dans la Calonne de désodorisation -Mauvaise qualité de l'eau dans le circuit	-Endommagement des équipements -Surchauffe des composants de la chaudière -Surpression -Rupture des conduites d'eau	-Thermostat -Sonde de température -Alarme	-Maintenance préventive -Vérification régulière de la qualité d'eau

Nœud 02: Circuit gaz naturel (Stockage vers le Brûleur)**Paramètre: Pression**

Mot-clé	Déviations	Causes	Conséquences	Détection / Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haute pression	<ul style="list-style-type: none">-Dysfonctionnement de la vanne d'entrée de gaz-Défaillance du régulateur de pression	<ul style="list-style-type: none">-Changement du rapport gaz/air dans la chambre de combustion- perte de flamme et Arrêt du Brûleur-Accumulation des gaz inflammable dans la chaudière (Risque d'explosion)	<ul style="list-style-type: none">-Régulateur de pression GAZ-Pressostat HP-Alarme-Système d'arrêt d'urgence	<ul style="list-style-type: none">-Maintenance préventive de vanne-Etalonnage de régulateur de pression
Moins de	Basse pression	<ul style="list-style-type: none">-Fuite dans les conduites de gaz-Défaillance du régulateur de pression	<ul style="list-style-type: none">-Mauvaise combustion-Performance réduite de génération de vapeur- Perte de flamme et Arrêt du brûleur-Risque d'explosion à l'extérieur de la chaudière	<ul style="list-style-type: none">-Régulateur de pression GAZ-Pressostat BP-Détecteur de fuite de gaz-Manomètre	<ul style="list-style-type: none">-Inspections-Contrôle CND

Nœud 02: Circuit gaz naturel (Stockage vers le Brûleur)**Paramètre: Débit**

Mot-clé	Déviaton	Causes	Conséquences	Détection /Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haut débit	<ul style="list-style-type: none">-Dysfonctionnement de la vanne d'entrée de gaz-Défaillance du régulateur de pression-Augmentation de pression du gaz dans le circuit	<ul style="list-style-type: none">-Explosion de la chaudière suite à une accumulation de gaz dans la chambre de combustion-Usure des composants-Perte de flamme et Arrêt du brûleur	<ul style="list-style-type: none">-Pressostat HP-Sonde de débit-Système d'arrêt d'urgence	/
Moins de	Bas débit	<ul style="list-style-type: none">-Fuites de gaz dans le circuit-Défaillance du régulateur de pression-Diminution de la pression du gaz dans le circuit	<ul style="list-style-type: none">-Production d'une vapeur à basse température-Usure prématurée des composants du système de combustion- Perte de flamme et Arrêt du brûleur-Risque d'explosion à l'extérieur de la chaudière	<ul style="list-style-type: none">-Détecteur de fuite de gaz-Pressostat BP-Sonde de débit-Système d'arrêt d'urgence	/

Nœud 03: Circuit vapeur (de la chaudière vers l'échangeur de la colonne de distillation)**Paramètre: Pression**

Mot-clé	Déviations	Causes	Conséquences	Détection / Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haute pression	<ul style="list-style-type: none">-Défaillance de la vanne de sortie vapeur (vanne à 3 voies)- Défaillance de système de contrôle de la pression de la vapeur-Problèmes avec le système de contrôle de la combustion (production excessive de vapeur)-Température de vapeur très élevée	<ul style="list-style-type: none">-Explosion mécanique de la chaudière suite à a surpression de vapeur- Rupture de la conduite de circulation de vapeur-Surchauffe de la chaudière	<ul style="list-style-type: none">-Manomètre de pression de vapeur-Soupapes de décharge de pression-Système d'arrêt d'urgence et Alarme-Indicateur de pression vapeur	/
Moins de	Basse pression	<ul style="list-style-type: none">-Manque d'eau dans la chaudière-Fuite dans les conduites de vapeur- Mauvaise combustion	<ul style="list-style-type: none">-Diminution de la production de vapeur-Perturbation du procédé de désodorisation	<ul style="list-style-type: none">-Sondes de pression vapeur-Manomètre de pression de vapeur-Alarme	<ul style="list-style-type: none">-Entretien des conduites de vapeur et vannes

Nœud 03: Circuit vapeur (de la chaudière vers l'échangeur de la colonne de distillation)**Paramètre: Température**

Mot-clé	Déviations	Causes	Conséquences	Détection / Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Température élevée	<ul style="list-style-type: none">-Surcharge dans la chaudière-usure et fuite des tubes de transfert de chaleur-Problèmes de circulation de l'eau de chaudière-Défaillance de système d'évacuation de vapeur	<ul style="list-style-type: none">-Rupture des conduites d'évacuation de la vapeur-Surchauffe des composants de la chaudière-Surpression-Risque d'explosion	<ul style="list-style-type: none">-Système d'arrêt d'urgence-Indicateur de haute température de vapeur-Alarme	Maintenance préventive
Moins de	Basse température	<ul style="list-style-type: none">-Débit de combustible insuffisant-Défaillance du brûleur-Fuites dans les conduites de vapeur	<ul style="list-style-type: none">-Arrêts de production et déviations de la qualité des produits finis-Réduction de l'énergie thermique-Condensation excessive de la vapeur	<ul style="list-style-type: none">-Indicateur de basse température de vapeur-Alarme	Maintenance préventive

Nœud 04: Circuit de fumée (de la chambre de combustion vers la cheminé « sortie vers l'extérieur »)					
Paramètre: Température					
Mot-clé	Déviation	Causes	Conséquences	Détection /Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Température élevée	-Surcharge dans la chaudière -usure et fuite des tubes de transfert de chaleur -Problèmes de circulation de l'eau de chaudière -Défaillance de système d'évacuation de fumée	-Rupture de la cheminée d'évacuation de la fumée -Surchauffe des composants de la chaudière -Risque d'explosion suite à une surpression de vapeur inflammable	-Système d'arrêt d'urgence -Indicateur de haute température de fumée -Alarme	Maintenance préventive

Nœud 04: Circuit de fumée (de la chambre de combustion vers la cheminé « sortie vers l'extérieur »)					
Paramètre: pression					
Mot-clé	Déviation	Causes	Conséquences	Détection /Mesure de sécurité	Recommandations
Plus de	Haute pression	-Surcharge dans la chaudière -usure et fuite des tubes de transfert de chaleur -Problèmes de circulation de l'eau de chaudière -Défaillance de système d'évacuation de fumée	-Rupture des conduites d'évacuation de la vapeur -Surchauffe des composants de la chaudière -Risque d'explosion	-Système d'arrêt d'urgence -Indicateur de haute pression de fumée -Alarme	Maintenance préventive

Plan de Maintenance pour le Séparateur Centrifuge Alfa Laval

Sous-Système	Equipement/ Composant	Surveillance et intervention	Fréquence	Remplacement et intervention	Fréquence	Référence
Système d'alimentation et évacuation de l'huile Entrée/Sortie	Les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol	Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.	tous les jours	Remplacer les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol	6 Mois	
	Vannes d'entrées et sorties et tuyauteries	Inspection visuelle. controle CND d'usure	3 mois	Vérifier et rectifier tout dommage de surface des pièces.	1 Ans	
	Bague de réglage	Vérifier le réglage de la hauteur	tous les jours	remplacer le bague	5 Ans	
Bol de séparation	Les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol	Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.	tous les jours	Remplacer les joints en caoutchouc / garnitures inclus dans le Bol	6 Mois	
	Vannes à bochon et joint d'étanchéité du capot du bol	Vérifier les vanes à bouchon et joint d'étanchéité	1 mois	Remplacer les Vannes à bouchons et le joint d'étanchéité du capot du bol		
	les pièces du bol	Nettoyer et inspecter toutes les pièces du bol pour l'érosion, la corrosion et les dommages.	3 mois	Vérifier et rectifier tout dommage de surface des pièces.	1 ans	
	le Corp du bol	Nettoyer et inspecter le corps central du bol.	3 mois	/	/	

	filetages de la bague	Nettoyer et traiter les filetages de la bague de	3 mois	/	/	
	Disque	Vérifier la pression de l'empilement de disques.	Tous les jours	Changer le disque	3 Ans	
	l'axe du bol	Vérifier le cône de l'axe du bol pour tout défaut d'alignement.	tous les 15 jours	Rectifier tout dommage de surface.	6 mois	
Moudule d'eau de manoeuvre	les canaux	Nettoyer et vérifier les canaux et vérifier le débit	1 mois	/	/	
	joints et garnitures mécaniques	vérifier et inspecter l'état des joints en caoutchouc / garnitures mécaniques	tous les 15 jours	remplacer les joints et garnitures	6 mois	
Châssis et le dispositif de Frein	Garniture de frein	vérifier l'état de la Garniture de frein	1 mois	Remplacer la garniture	1 Ans	
	Vis sans fin	inspecter et vérifier l'état de l'huile dans le carter de la vis sans fin	tous les 15 jours	changer l'huile de lubrification	1 mois	
	vis de vidange	inspecter le Joint d'étanchéité de la vis de vidange d'huile.	tous les jours	Remplacer le joint	2 mois	
	Fondation	Vérifier la fondation	1 mois	/	/	
	Capteur de vitesse	Vérifier le jeu dans le capteur de vitesse	tous les jours	/	/	
	joints et garnitures mécaniques	vérifier les joints en caoutchouc / garnitures	1 mois	Renouveler les joints en caoutchouc / garnitures	1 ans	
	Roulements à billes.	Vérifier l'état des Roulements à billes.	3 mois	remplacer les Roulements à billes.	1 ans	

-Retour d'experience
-Consignes de maintenance données par le constructeur

Arbre vertical	Amortisseurs	Vérifier l'état de l'Amortisseurs	6 mois	Remplacer l'Amortisseurs	2 ans
	Palier inférieur	Vérifier le palier inférieur pour tout signe de rotation de la bague extérieure	1 mois	/	/
	l'Engrenage	Vérifier l'engrenage à vis sans fin pour toute usure anormale.	1 mois	/	/
Arbre Horizontal	Joints en caoutchouc / garnitures	Vérifier les joints en caoutchouc / garnitures	1 mois	Remplacer les joints en caoutchouc / garnitures	1 ans
	Roulements à billes	Vérifier l'état des Roulements à billes.	3 mois	Remplacer les billes	1 ans
	Plaques de couplage	Vérifier les Plaques élastiques de couplage	3 mois	Remplacer les Plaques élastiques de couplage	2 ans
	l'arbre de la roue	Vérifier l'arbre de la roue à vis sans fin pour tout balancement et excentricité	3 mois	/	/
	Paliers	Vérifier le paliers pour tout signe de dommage.	1 mois	/	/
Motor	les composants du Motor	Vérifier les vibrations.	tous les jours	/	/
	Bain d'huile	Lubrifier selon les recommandations du fabricant.	1 mois	démonter et nettoyer le bain d'huile	6 mois
	les composants du Motor	Vérifier l'isolation	1 mois	réparer ou remplacer l'isolation	1 ans

Plan de Maintenance pour la Chaudière à Vapeur

Sous-Système	Equipement/ Composant	Surveillance et intervention	Fréquence	Remplacement et intervention	Fréquence	Référence
Système d'évacuation de vapeur	Canalisation	Vérifier l'absence de corrosion, de fuite ou fissures	1 Mois	Controle CND ou Remplacer si nécessaire les canalisation	2 Ans	
	Vanne de sortie de vapeur	Vérifier l'état des ressorts, joints	Chaque semaine	Remplacer les joints	6 Mois	
	Clapet anti-retour	Vérifier l'étanchéité et l'état des joints	Chaque semaine	Remplacer les joints	6 Mois	
	Soupape de décharge	Vérifier les contact, l'état du ressort et de disque de rupture	1 Mois	démonter la soupape pour controle et remplacement du ressort	1 Ans	
	pressostat	Inspecter et vérifier le réglage	Tous les jours	nettoyer les sondes de mesure	6 Mois	
Système d'alimentation d'eau	Pompe d'alimentation en eau	Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.	3 Mois	Démonter et contrôler les étages de la pompe et sa partie électrique	5 Ans	
	La bêche à eau	Contrôler le niveau et la qualité d'eau dans la bêche à eau.	15 Jours	Vider et nettoyer le bac à eau.	1 Ans	
	Vanne et Flotteur	Contrôler la vanne d'arrêt et le Flotteur	15 Jours	Changer le flotteur si nécessaire.	1 Ans	
	Conduites et tuyautries	Contrôler les conduites et les raccords s'ils ne présentent pas de points de fuites, s'assurer que les raccords sont bien fixés.	6 Mois	Vérifier l'épaisseur de la tuyauteries	5 Ans	

	Filtre à eau	Nettoyer ou de remplacer régulièrement le filtre pour maintenir une qualité d'eau adéquate.	1 Mois	Remplacer le filtre	3 Mois
Système d'alimentation de gaz	Canalisation	Vérifier l'absence de corrosion, fuites ou fissures	1 Mois	Controle CND ou Remplacer si nécessaire les canalisation	2 Ans
	Vanne	Vérifier les ressorts et manoeuvrer les vannes	Chaque semaine	Remplacer les ressort	6 mois
	Détecteur de gaz	Vérifier le bon fonctionnement	Tous les jours	étalonnage	1 ans
	Pressostat de gaz	Vérifier le contact et assurer le bon réglage et bonne lecture	Tous les jours	étalonnage	1 ans
	Pompes	Vérifier le bon fonctionnement et l'absence des bruits inhabituels	Tous les jours	démonter la pompes et sa partie électrique	5 ans
Brûleur	le corp du Brûleur et les injecteur	- Inspectez et nettoyez les injecteurs pour éliminer les débris -Lubrification des pièces mobiles du Brûleur	3 Mois	/	/
	les organes de régulation	Vérifier les organes de régulation (Pressostat d'air et de gaz, régulateur de débit de gaz)	1 Mois	Remplacer ou étalonner les organes de régulation	1 Ans
	les électrodes d'allumage	Vérifier le bon placement des électrodes et dépoussiérier les électrodes d'allumage	1 Mois	changer l'électrode	1 Ans
	pompes et filtre d'air	-Vérifier le bon fonctionnement de la pompe, Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations	Tous les jours	Changer ou Nettoyer le f	6 Mois

	Moteur de combustion de gaz	-Vérifier la courroie du ventilateur et ses ailettes -Changer l'huile de lubrification du moteur -Inspection visuelle et sensorielle d'un bruit anormal ou vibration inhabituelle	6 mois	/	/
chambre de combustion	Serpentin	vider et vérifier la chaudière via la vanne de vidange	6 mois	/	/
	joints et raccords	Vérifier l'état des joints et raccords mécaniques	6 mois	/	/
	Tubes de chauffage	Nettoyer les tubes de chauffage à l'intérieur de la chaudière	6 mois	/	/
Système d'évacuation de fumée	Cheminée	- Nettoyer la cheminée des impuretés -Traiter la corrosion de la cheminée	6 mois	/	/
	Canalisation	Vérifier l'absence de corrosion fissures ou fuite	1 mois	/	/
	thermostat	Vérifier le réglage et le bon fonctionnement	Tous les jours	étalonnage	1 ans
	Alarme	tester l'alarme de haute pression ou température de fumée	1 mois	changer	1 ans
Armoire électrique	organes de commande	Vérifier les organes de commande et les lampes de signalisation, resserrer les connexions	Tous les jours	/	/
	disjoncteurs	Vérifier le contact de disjoncteur	tous les jours	remplacer me disjoncteur	2 ans
	circuits électriques	nettoyer les isolateurs et vérifier l'absence des court-circuits	6 mois	/	/

Système de protection contre la corrosion	Revêtement	Vérifier l'état du Revêtement de la calande de la chaudière	Chaque semaine	Renouveler le Revêtement	5 ans	
--	------------	---	----------------	--------------------------	-------	--