

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



Filière Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement
Gestion des Risques Industriels

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en QHSE-GRI

**Étude de dangers du Haut Fourneau : Application de la méthode
MADS-MOSAR
Cas de ArcelorMittal-Algérie**

Étudié par : CHAABNA Selma
Proposé par : LASKRI Elhadi
Encadré par : BENMOKHTAR Amin (ENP)
HARIK Djamila (ENP)
KADER Sofiane (ArcelorMittal Algérie)

Présenté et soutenu publiquement le (21/06/2016)

Composition du Jury :

Président Mme. HAOUCHINE Ouzna, Maitre de Conférence ENP
Promoteur Mr. BENMOKHTAR Amin, Maitre-assistant ENP
Examineur 1 Mr. KERTOUS Aboubaker, Maitre-assistant ENP
Examineur 2 Mr. TOUAHAR Bachir, Maitre-assistant ENP

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



Filière Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement
Gestion des Risques Industriels
Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en QHSE-GRI

**Étude de dangers du Haut Fourneau : Application de la méthode
MADS-MOSAR
Cas de ArcelorMittal -Algérie**

Étudié par : CHAABNA Selma
Proposé par : LASKRI Elhadi
Encadré par : BENMOKHTAR Amin (ENP)
HARIK Djamila (ENP)
KADER Sofiane (ArcelorMittal Algérie)

Présenté et soutenu publiquement le (21/06/2016)

Composition du Jury :

Président	Mme. HAOUCHINE Ouzna,	Maitre de Conférence	ENP
Promoteur	Mr. BENMOKHTAR Amin,	Maitre-assistant	ENP
Examineur 1	Mr. KERTOUS Aboubaker,	Maitre-assistant	ENP
Examineur 2	Mr. TOUAHAR Bachir,	Maitre-assistant	ENP

DEDICACES

À mes parents

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (ArcelorMittal Algérie) grâce à la contribution de nombreuses personnes de son personnel à qui je tiens à adresser mes remerciements, notamment à Mr. KADER Sofiane, Mr. LOUHI Hocine, Mr. KABOUCHE Abdelkader et Mr. LASKRI Elhadi.

Mes remerciements vont particulièrement à Monsieur BENMOKHTAR Amin et Madame HARIK Djamilia, Enseignants à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour leur soutien permanent, leur aide constante et leurs encouragements inconditionnés durant tout ce travail.

Je présente mes vifs remerciements aux membres du jury de soutenance de ce mémoire, à savoir:

- Madame HAOUCHINE, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.
- Messieurs KERTOUS Aboubaker et TOUAHAR Bachir, d'avoir accepté d'évaluer ce manuscrit.

Enfin, j'aimerais remercier toute ma famille, ainsi que toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail.

Merci beaucoup à tous.

هذه الدراسة تهدف الى استخراج اهم السيناريوهات التي يمكن ان تطرأ خلال مدة حياة الهيكلية و التأكد من تطبيق العمليات التي تسمح بتسيير الوضعيات الاستعجالية و التي تقلل من احتمالات حدوث الحوادث. طرق تحليل المخاطر المستخدمة لهذا الغرض هي APR AMDEC Nœud Papillon MADS-MOSAR للمقارنة. ان اكثر السيناريوهات خطورة قد تمت محاكاتها عن طريق تقنية TNT و تبعت بتطبيق PHAST لتوقع النتائج و التي تم التأكد منها بـ ALOHA . التجهيزات التي تم التعرف على انها مصدر للخلل بواسطة AMDEC سمحت لنا بانجاز مخطط الصيانة.

الكبيرة.

لمفتاحي :

ABSTRACT

This study is to bring out the major scenarios susceptible to happen during the life of the installation and to make sure that we put in place all the procedures and mechanisms permitting to manage emergency situations and at the same time minimize their occurring probability. The risk analysis methods used for this purpose are APR, AMDEC, NœudPapillon and MADS-MOSAR for the comparison. The most critical scenario is simulated with TNT method followed by the PHAST application to estimate the effects which are checked by ALOHA. The equipments identified as a failing source in AMDEC served for recommendation of a maintenance plan.

Key-words: Hazards study, MADS-MOSAR, Blast Furnace, major risks

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de faire ressortir les scénarios majeurs susceptibles de survenir durant la vie de l'installation de l'unité du Haut Fourneau n°2 et de s'assurer de la mise en place des procédures et mécanismes permettant de gérer les situations d'urgence tout en minimisant leurs probabilités d'occurrence. Les méthodes d'analyse des risques utilisées à cette fin sont : APR, AMDEC, Nœud Papillon et MADS-MOSAR dans un but de comparaison. Le scénario le plus critique, qui est l'explosion du Bloc HF, est simulé à l'aide de la méthode TNT suivie d'une application de PHAST pour l'estimation des effets dont le résultat est vérifié par ALOHA. Les équipements, qui ont été identifiés comme source de défaillance dans l'AMDEC, nous ont servi pour préconiser un plan de maintenance.

Mots-clés : Etude de dangers, MADS-MOSAR, Haut Fourneau, risques majeurs

TABLE DES MATIÈRES

Résumé

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

INTRODUCTION..... 11

CHAPITRE 1 CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE..... 13

1.1 Mise en contexte13

1.2 Analyse critique de l'étude de dangers21

1.3 Problématique22

1.4 Méthodologie22

CHAPITRE 2 UNITE D'ETUDE : Haut Fourneau 25

2.1 Description de l'environnement immédiat de l'installation25

2.2 Description de l'unité d'étude30

2.2.1 Fonctionnement du HF n°234

2.2.2 Process de fabrication de la fonte37

2.2.3 Analyse fonctionnelle39

2.3 Identification et caractérisation des potentiels de dangers39

2.3.1. Liés aux produits40

2.3.2. Liés aux procédés43

2.3.3. Liés aux opérations43

2.3.4. Liés à l'environnement naturel43

2.4 Système de gestion de sécurité44

2.5 Accidentologie48

2.5.1. Accidents survenus sur le site48

2.5.2. Accidentologie externe50

CHAPITRE 3 PRESENTATION DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES ET RESULTATS52

3.1. DEMARCHE 1 : Combinaison des méthodes classiques52

3.1.1. Analyse Préliminaire des Risques (APR)52

3.1.2 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)
57

3.1.3 Nœud de papillon63

3.2. DEMARCHE 2 : MADS-MOSAR66

3.2.1 MADS67

3.2.2 MOSAR70

CHAPITRE 4 SIMULATION DES CONSEQUENCES ET RECOMMANDATIONS102

4.1 Simulation102

4.1.1 Scénarios retenus102

4.1.2 Identification des cibles vulnérables103

4.1.3 Simulation de la dispersion d'un nuage de monoxyde de carbone	103
4.1.4 Interprétation des résultats.....	107
4.2 Recommandations.....	108
4.2.1 Conduite à tenir	108
4.2.2 Surveillance de la marche et de l'état du haut fourneau	108
4.2.3 Plan de maintenance	110
CONCLUSION.....	114
RÉFÉRENCES	116
ANNEXE A : Analyse fonctionnelle	118
ANNEXE B : Tableau APR.....	122
ANNEXE C : Tableau AMDEC.....	128
ANNEXE D : Nœuds Papillon.....	132
ANNEXE E : Schémas Scénarios Longs	143
ANNEXE F : Moyens prévention et protection.....	146
ANNEXE G : Abaque tnt tms-1300.....	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Conversion de la masse ou du volume en énergie	20
Tableau 2-1 : Bilan de matières pour une tonne de fonte.....	38
Tableau 2-2 : Décomposition fonctionnelle de l'unité HF.....	39
Tableau 2-3 : Caractéristiques physiques et thermiques de la fonte à 1500 °C	40
Tableau 2-4 : Caractéristiques du gaz HF	40
Tableau 2-5 : Consommation semestrielle des huiles	41
Tableau 2-6 : Classement selon le décret 06-104 portant sur la nomenclature des déchets	42
Tableau 2-7 : Risques présentés par les opérations.....	43
Tableau 3-1 : Tableau type APR.....	54
Tableau 3-2 : Grille de gravité	55
Tableau 3-3 : Grille de fréquence.....	55
Tableau 3-4 : Gravité-fréquence et le critère de décision	56
Tableau 3-5 : Gravité.....	61
Tableau 3-6 : Probabilité d'apparition	61
Tableau 3-7 : Non-détection.....	61
Tableau 3-8 : Tableau type AMDEC	62
Tableau 3-9 : Fréquence d'occurrence de chaque ERC	65
Tableau 3-10 : Fréquences d'occurrence des conséquences	66
Tableau 3-11 : Points de vue et les techniques d'étude.....	70
Tableau 3-12 : Systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information (classification également appelée grille 1)	72
Tableau 3-13 : Sources de danger par sous-système.....	73
Tableau 3-14 : Canevas du Tableau A reprenant le processus de danger MADS.	76
Tableau 3-15 : Processus de danger par sous-système.....	76
Tableau 3-16 : Evaluation des scénarios	94
Tableau 3-17 : Définition des barrières de prévention/protection (Tableau B)	98
Tableau 3-18 : Réévaluation des scénarios tenant compte des barrières	99
Tableau 4-1 : Distances de dispersion pour chaque seuil de toxicité (résultats du PHAST)	106
Tableau 4-2 : Symptômes développés en fonction de la concentration du CO dans l'air.....	107
Tableau 4-3 : Moyens de mesure proposés	109
Tableau 4-4 : Plan de maintenance préventive.....	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Unités du complexe sidérurgique d'El-Hadjar	14
Figure 1-2 : Etapes de fabrication de l'acier.....	15
Figure 1-3 : Répartition des accidents avec arrêt de travail (AAA) par unité.....	17
Figure 1-4 : Pourcentage des AAA pour chaque unité du complexe	17
Figure 1-5 : Plan de masse du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.....	19
Figure 1-6 : Classification de première catégorie	20
Figure 1-7 : Démarche méthodologique.....	23
Figure 2-1 : Rose des vents	27
Figure 2-2 : Température et précipitations moyennes annuelles.....	27
Figure 2-3 : Plan de masse de l'unité HF n° 2	31
Figure 2-4 : Bloc HF	32
Figure 2-5 : Vent chaud.....	33
Figure 2-6 : Epuration de gaz.....	33
Figure 2-7 : Eau de refroidissement	34
Figure 2-8 : Bloc HF et ses annexe	36
Figure 2-9 : Fabrication de la fonte	37
Figure 2-10 Politique Santé & Sécurité d'ArcelorMittal	45
Figure 2-11 : Organisation de l'entreprise	46
Figure 3-1 : Méthodes d'Analyse des risques utilisées	52
Figure 3-2 : Répartition des événements redoutés sur les systèmes de l'unité HF	57
Figure 3-3 : Le « PDCA » appliqué à l'AMDEC.....	58
Figure 3-4 : Exemple d'un nœud papillon.	63
Figure 3-5 : Modèle MADS ou l'univers du danger	68
Figure 3-6 : Relations de référence utilisées pour l'analyse des risques.....	69
Figure 3-7 : Modélisation d'une installation industrielle	71
Figure 3-8 : Génération de scénarios courts par le schéma des boites noires	81
Figure 3-10 : Scénario court du SS2	82
Figure 3-9 : Scénario court du SS1	82
Figure 3-11 : Scénario court du SS3	82
Figure 3-12 : Scénario court du SS4	83
Figure 3-13 : Scénario court du SS5	83
Figure 3-14 : Scénario court du SS6	83
Figure 3-15 : Scénario court du SS7	84
Figure 3-16 : Scénario court du SS8	84
Figure 3-17 : Scénario court du SS9	84
Figure 3-18 : Scénario court du SS10	85
Figure 3-19 : Scénario court du SS11	85
Figure 3-20 : Scénario court du SS12	85
Figure 3-21 : Scénario court du SS13	86
Figure 3-22 : Scénario court du SS14	86
Figure 3-23 : Scénario court du SS15	86
Figure 3-24 : Scénario court du SS16	87
Figure 3-25 : Scénario court du SS17	87
Figure 3-27 : Génération de scénarios longs par le schéma des boites noires	88
Figure 3-26 : Scénario court du SS18	87
Figure 3-28 : Pré-arbre logique 1	89

Figure 3-29 : Pré-arbre logique 2	90
Figure 3-30 : Pré-arbre logique 3	91
Figure 3-31 : Pré-arbre logique 4	91
Figure 3-32 : Scénarios retenus par MADS-MOSAR.....	93
Figure 3-33 : Négociation des échelles (Premier niveau de négociation).....	95
Figure 3-34 : Passage de la frontière (Deuxième niveau de négociation).....	96
Figure 3-35 : Appréciation des scénarios à risques	97
Figure 3-36 : Nouvelle situation des scénarios à risque	99
Figure 3-37 : Arbre logique et ses évènements primaires	100
Figure 3-38 : Démarche MADS-MOSAR	101
Figure 4-1 : Illustration de la dispersion du monoxyde de carbone (Résultat du PHAST).....	106
Figure 4-2 : Présentation de la dispersion du monoxyde de carbone (Résultat de l'ALOHA)....	107
Figure 4-3 : Repère des moyens de mesure.....	110

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

HF	Haut Fourneau
EDD	Étude de dangers
PMA	Préparation de Matière et Agglomération
AAA	Accidents Avec Arrêt
APR	Analyse Préliminaire des Risques
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet et leur Criticité
ERC	Evènement Redouté Central
MADS	Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
PRP	Prévention des Risques Professionnels
MTV	Médecine de Travail
LCI	Lutte Contre Incendie
CHS	Commission Hygiène et sécurité
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les accidents
PII	Plan intervention Interne
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
HSE	Hygiène Sécurité Environnement

INTRODUCTION

La prévention des accidents majeurs constitue la première préoccupation des entreprises, car à la survenance d'un accident majeur, la survie de l'entreprise et du capital humain est menacée, et la raison d'être d'une entreprise est la pérennité de son capital humain et matériel.

Pour prévenir ces risques majeurs, la législation s'est renforcée à travers le monde (Directive Seveso) en imposant aux exploitants d'installations classées des exigences en matière de mesures de prévention et de protection. C'est ainsi que l'étude d'impact environnemental, l'étude de danger, le plan d'intervention d'urgence sont exigés dans la demande d'autorisation d'exploitation que chaque promoteur ou exploitant doit élaborer et faire approuver par les autorités compétentes.

La législation algérienne impose aux entreprises de mettre en place des mécanismes pour la prévention des accidents majeurs au niveau des entreprises. Car, en plus de la menace que peut causer un risque majeur à l'intérieur d'une entreprise, il peut aussi occasionner des pertes à la population environnante. Il sera plus judicieux alors d'investir dans la prévention que d'investir dans les réparations des dommages.

L'objectif de ce travail est de démontrer, à travers l'élaboration d'une étude de dangers, que les accidents majeurs ont été identifiés et que les mesures nécessaires ont été prises pour la prévention de ces accidents et pour la limitation de leurs conséquences pour l'homme et l'environnement. Pour cela, deux démarches d'analyse des risques ont été adoptées : d'un côté, une combinaison de méthodes classiques (APR, AMDEC, Nœud Papillon) et de l'autre côté, la méthode intégrée MADS-MOSAR dans le but de connaître laquelle des deux répondra le mieux à notre besoin. Le choix des scénarios plausibles est suivi par une simulation d'un accident afin d'estimer ses conséquences.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation générale du complexe sidérurgique d'El-Hadjar, suivie par la problématique posée et la méthodologie pour sa résolution. Le second chapitre constitue un recueil d'information nécessaire pour l'étude de dangers. Les méthodes d'analyse des risques sont développées et leurs résultats sont interprétés dans le troisième chapitre. Le quatrième et dernier chapitre présente une

simulation d'une partie de l'accident ultime du haut fourneau et des recommandations pour prévenir les accidents majeurs de l'unité du Haut Fourneau.

CHAPITRE 1

CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous allons présenter le complexe sidérurgique de façon générale, ainsi que le process de fabrication de l'acier. Ensuite, nous allons décrire la méthodologie suivie après avoir abordé la problématique de notre travail.

1.1 Mise en contexte

L'étude de dangers concerne l'unité Haut Fourneau n° 2 du complexe sidérurgique d'El-Hadjar. L'étude vise à la mise en conformité de l'installation avec le décret exécutif 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 (31 mai 2006) définissant la réglementation applicable aux établissements classés. Ce décret prévoit l'obligation d'une étude de dangers pour pouvoir exploiter un établissement classé.

1.1.1. Présentation générale de l'installation

ArceloMittal Algérie est un complexe sidérurgique situé dans la commune d'El-Hadjar à une distance de 15 km de la ville d'Annaba. Il s'étend sur une superficie de 830 ha et cette superficie est occupée approximativement par trois zones principales :

- A. Ateliers de production : 300 ha
- B. Superficie de stockage : 300 ha
- C. Superficie des différents services : 200 ha

Le produit fini de ce complexe est l'acier sous différentes formes (tôles , bobines, rond à béton). Pour en arriver là, il faut passer par plusieurs unités comme l'indique la figure 1-1.

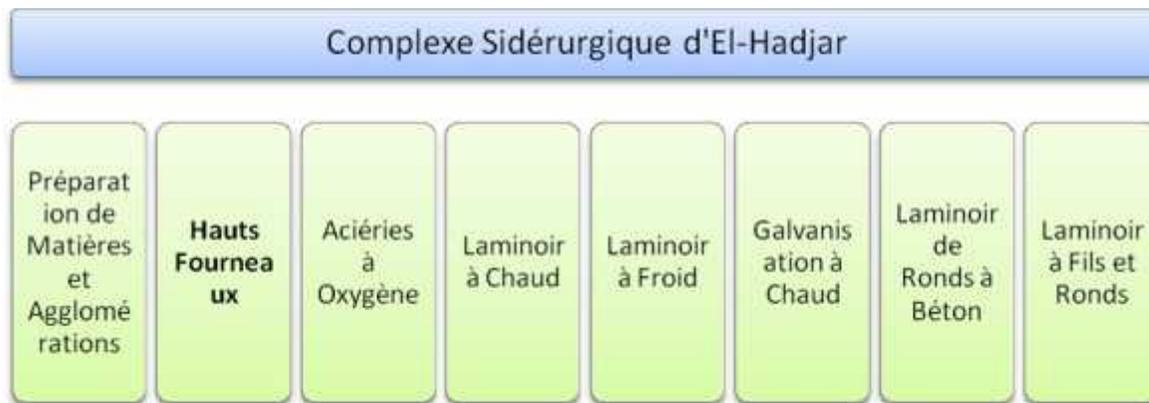


Figure 1-1 :Unités du complexe sidérurgique d'El-Hadjar

1.1.2. Process de fabrication de l'acier

Le minerai de fer passe par plusieurs étapes avant d'être transformé en acier, l'une de ces étapes est la fonte liquide. La figure 1-2 représente la chaîne de production de l'acier jusqu'à sa mise en forme finale.

Tout commence avec du minerai de fer et du charbon. Le charbon est transformé en coke. : Le minerai de fer est préparé dans l'unité PMA (Préparation des Matières et Agglomération) puis fondu dans le **Haut Fourneau** avec du coke, c'est du haut fourneau que nous obtenons la fonte et la gangue qui est appelée le laitier et qui sert pour les cimenteries et les travaux publics.. La fonte passe dans un convertisseur, c'est alors que nous obtenons l'acier liquide, un acier qui est ensuite affiné est mis à la nuance exacte commandée par le client.

Un acier ne contient pas plus de 1% de carbone, mais à la sortie du haut fourneau, nous sommes encore à plus de 4%. Ce n'est pas encore de l'acier, le carbone provient de la petite part de coke qui n'a pas brûlé. La fonte est transportée à l'aciérie sur des rails dans des poches tonneaux et reversée dans une énorme cuve. Cette cuve est acheminée jusqu'au convertisseur, c'est une espèce de marmite géante où nous convertissons la fonte en acier. Sur le lit de ferraille, nous versons la fonte liquide, ensuite nous insufflons de l'oxygène pour brûler la plus grande partie de carbone et des impuretés qui sont contenus dans la fonte. La durée du soufflage est de 15 minutes et le bain est à 1600°C.

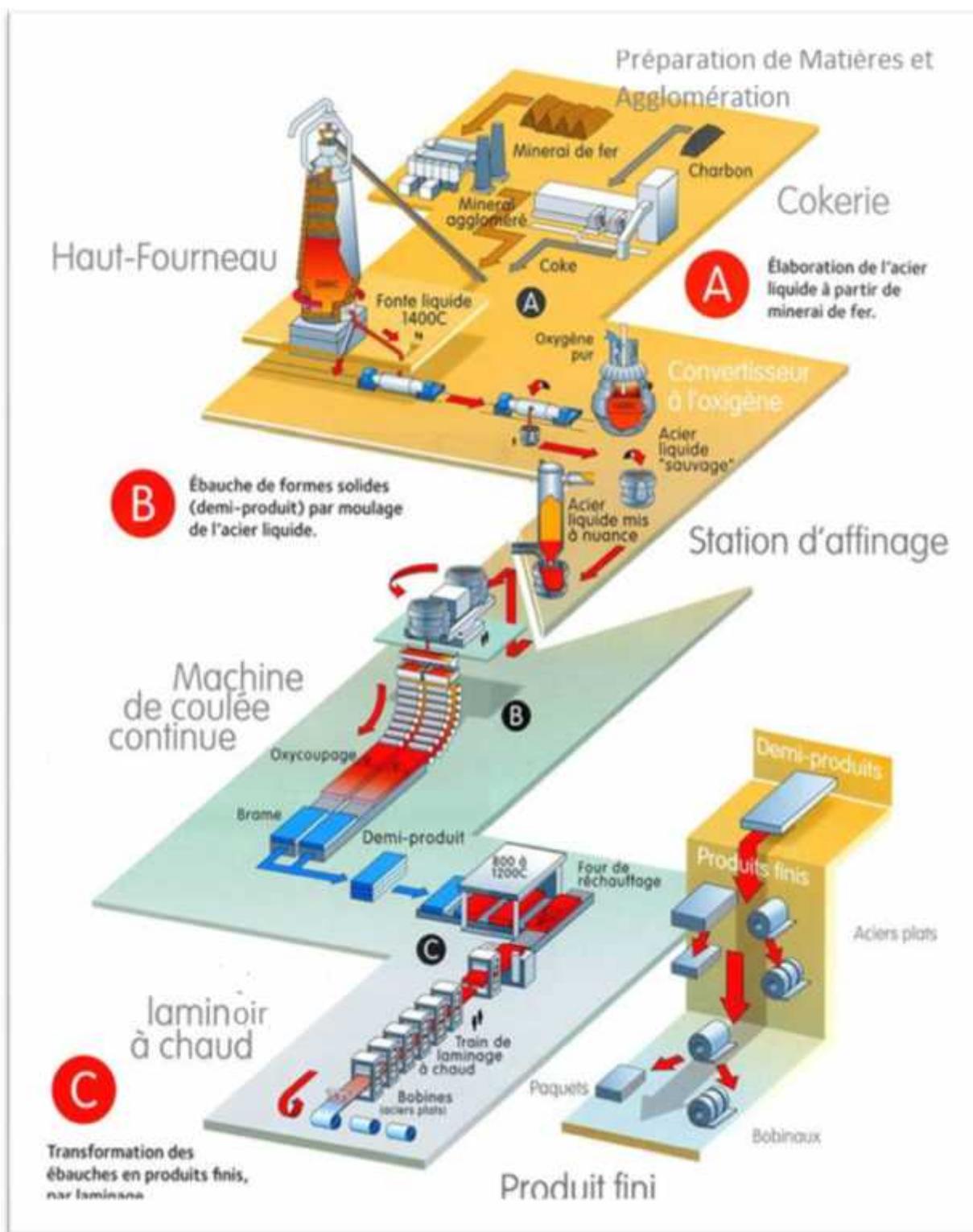


Figure 1-2 : Etapes de fabrication de l'acier (Source:www.construiracier.fr)

A la sortie du convertisseur, nous obtenons l'acier qui n'est pas tout à fait fini, il reste une petite proportion de carbone qui est encore trop importante pour certaines nuances d'acier. C'est ainsi à la station d'affinage que nous décarburons c'est-à-dire que nous enlevons le carbone excédentaire. Pour cela, nous injectons dans l'appareil de l'oxygène et de l'argon. Le carbone est évacué à la partie supérieure sous forme gazeuse (CO et CO₂). Ensuite, nous ajoutons les composés chimiques correspondant à la nuance commandée, selon le cas, cela pourra être du magnésium (Mg), du silicium (Si), du chrome (Cr), du nickel (Ni) ou d'autres éléments. Au moment de l'affinage, tout est finement contrôlé, les dosages sont précis. D'ailleurs, chaque produit possède sa carte d'identité qui l'accompagne de la commande jusqu'à la livraison.

Nous venons d'élaborer l'acier liquide, il faut maintenant donner une première forme solide, étape intermédiaire, avant ses mises en forme définitives.

Dans un premier temps, nous allons créer des formes solides : ébauches par moulage dans une machine de coulée continue.

Dans un second temps, nous transformerons les ébauches par laminage pour obtenir des formes définitives. Nous allons verser les poches contenant l'acier liquide dans un moule tout en contrôlant la température. L'acier entre en contact avec les parois refroidies à l'eau et commence à se solidifier. Le métal descend, guidé par un jeu de rouleaux. Pendant la descente, le métal refroidit progressivement. Lorsqu'il arrive à la sortie, il est solidifié à cœur. Le produit est immédiatement sectionné à la longueur souhaitée. Ainsi, nous obtenons une ébauche de section rectangulaire que nous appelons brame. Cette brame va servir à fabriquer des produits plats c'est-à-dire des brames ou des tôles en bobines ou en feuilles.

Avant le laminage, nous réchauffons l'ébauche dans un four pour rendre le métal plus malléable, plus facile à étirer et à mettre en forme. L'ébauche qui vient de réchauffer, passe entre les cylindres du laminoir. Ces cylindres tournent en sens inverse. Le laminage se fait par étapes d'écrasement successives et progressives. L'ébauche se comprime et s'allonge. Avec une ébauche plate de 10 mètres de longueur, nous faisons une bande de tôle de plus d'un kilomètre qui sera bobiné.

Les produits finis du complexe sidérurgique d'El-Hadjar sont les tôles, les bobines, les bobines galvanisées et le rond à béton.

1.1.3. Choix du Haut Fourneau (HF)

Parmi les nombreuses unités du complexe sidérurgique d'El-Hadjar, notre choix s'est porté sur l'unité HF pour mener notre étude.

L'HF est l'outil de production de fonte de grande quantité. Encore de nos jours, nous construisons des HFx, même s'il existe d'autres producteurs de fonte, rien n'a encore égalé le HF comme producteur industriel.

La fabrication de l'acier s'organise essentiellement autour du haut fourneau, il constitue l'étape la plus importante du process. Cela veut dire que l'arrêt du haut fourneau entraîne l'arrêt de toute l'usine. Le haut fourneau nécessite un contrôle permanent pour assurer sa marche continue dans de bonnes conditions.

Les figures 1-3 et 1-4 représentent les statistiques des accidents de l'année 2013 répartis sur les unités du complexe sidérurgique.

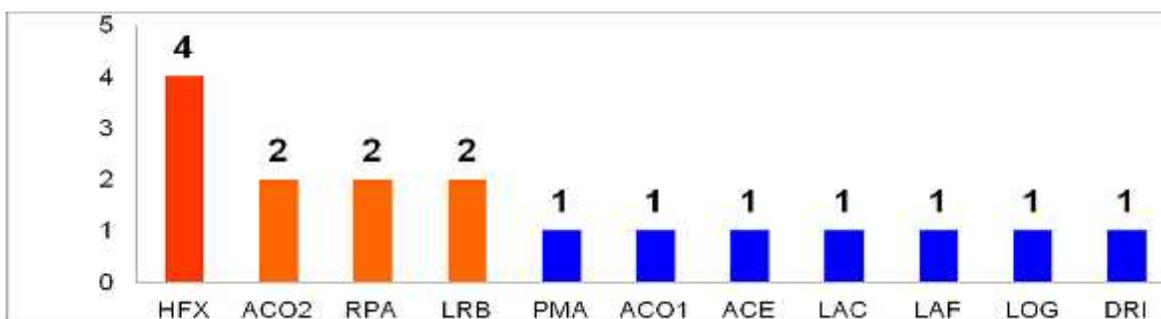


Figure 1-3 :Rpartition des accidents avec arrêt de travail (AAA) par unité (statistiques de l'an 2013)

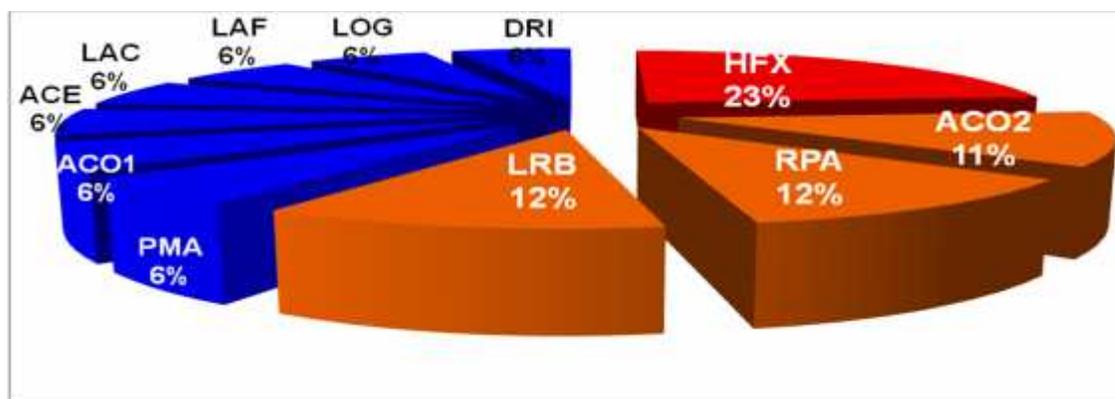


Figure 1-4 :Pourcentage des AAA pour chaque unité du complexe

Selon les statistiques, le Haut Fourneau est une unité à risque. Nous devons maîtriser les risques découlant de son activité.

1.1.4. Localisation du HF n°2 au sein du complexe

L'unité HF n° 2 est délimitée par :

- Au Nord, des bâtiments administratifs.
- A l'Est, le haut fourneau N° 1.
- A l'ouest, la machine à couler (fonte).
- Au Sud, les installations des deux unités de production de matière première (PMA 1, PMA 2).

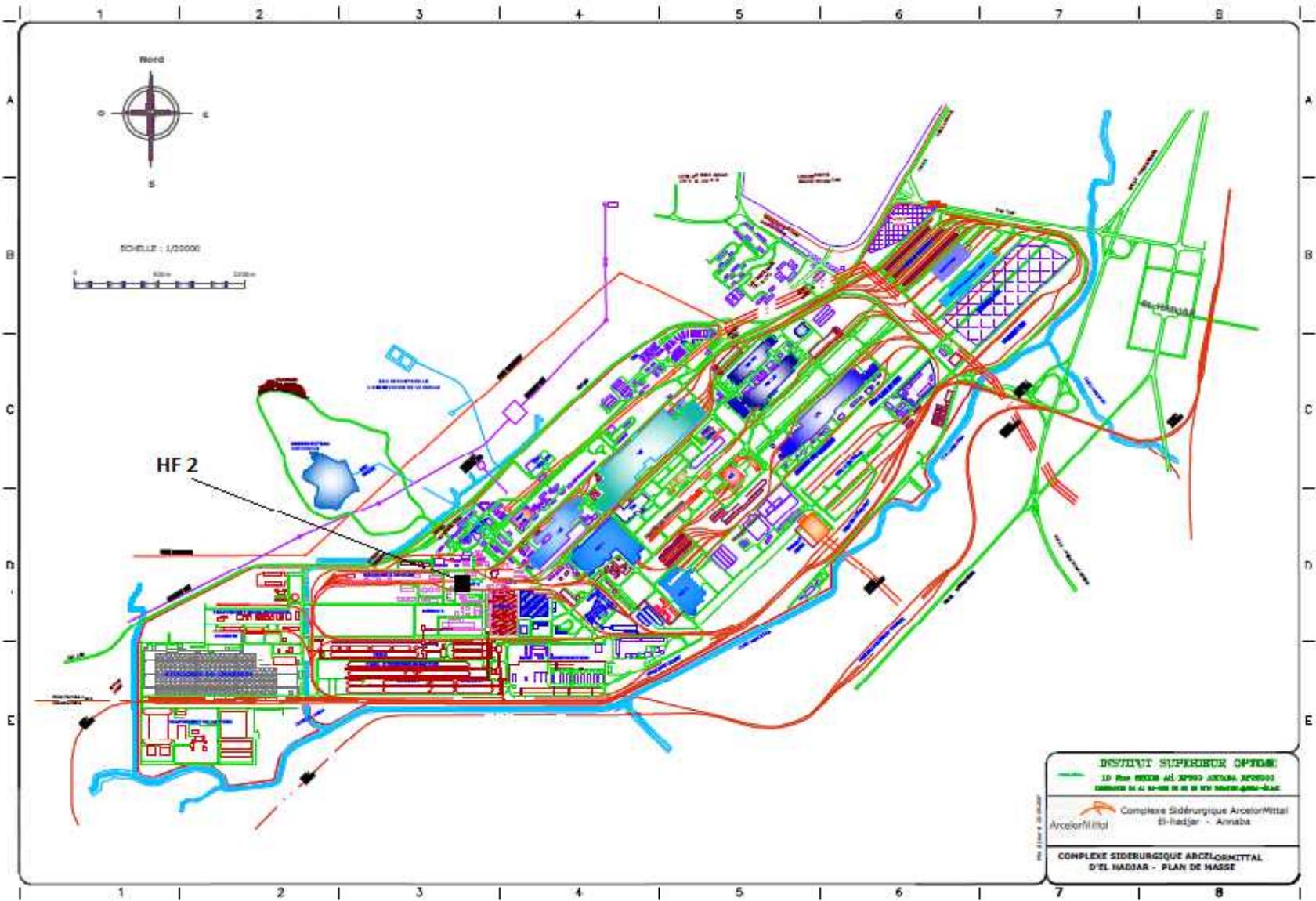


Figure 1-5 : Plan de masse du complexe sidérurgique d'El-Hadjar

1.1.5. Classification de l'installation

En application du **décret exécutif n°07-144 du 19 Mai 2007** fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, l'installation du Haut Fourneau est classées de 1ère catégorie et est donc soumise à autorisation ministérielle.

N° de la rubrique	Désignation de l'activité	Type d'autorisation	Rayon d'affichage (Km)	Étude d'impact	Étude de danger	Notice d'impact	Rapport sur les produits dangereux
2511	Acier, fer, fonte, ferroalliages (Fabrication d'), à l'exclusion de la fabrication de ferroalliages au four électrique						
	Lorsque la puissance installée du (des) four(s) est :						
	1. Supérieure à 100 kW	AM	4	x	x		
	2. Inférieure ou égale à 100 kW	AW	3	x	x		

Figure 1-6 : Classification de première catégorie [1]

Démonstration : La quantité de gaz naturel utilisée par heure est : 800.000 Nm^3 . La formule permettant de convertir cette quantité de volume en énergie est précisée dans le tableau suivant :

Tableau 1-1 : Conversion de la masse ou du volume en énergie (Source: IEA Statistics Natural Gas Information 2006)

Conversion Factors from Mass or Volume to Heat
(Gross Calorific Value)

	LNG**		GAS							
			Norway		Netherlands		Russia		Algeria	
To:	MJ	Btu	MJ	Btu	MJ	Btu	MJ	Btu	MJ	Btu
From:	multiply by:									
Cm^3	40.00	37660	40.00	57913	53.92	21581	38.23	56235	59.19	27145
Kg	54.25	51417	52.22	49495	42.07	39875	35.25	52353	52.46	48726

* at 15°C

** in gaseous state

Après la conversion de l'énergie obtenue qui est de $3,13.10^7$ MJ en kWh et en prenant en compte que cette énergie est consommée pendant une heure, nous présumons que la puissance générée par le gaz naturel est de $8,7.10^6 \text{ kW} > 100 \text{ kW}$

De ce fait, la délivrance d'une étude de dangers est obligatoire pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation de cette installation.

1.2 Analyse critique de l'étude de dangers

L'étude de dangers qui fait l'objet de cette analyse critique a pour objectif d'obtenir l'autorisation d'exploitation de l'unité Haut Fourneau n°2 qui fait partie du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

La présentation du projet se résume aux entrées, sorties, capacité de production et principal utilisateur, suivi d'une brève description de la localisation de l'unité au sein du complexe sans être soutenue d'un plan de site.

Le rôle de chaque équipement principal est bien expliqué sans utiliser aucun schéma représentatif sauf pour le bloc HF.

La description de l'environnement n'a pas été abordée.

Les potentiels de dangers cités dans l'étude de dangers font partie des dangers spécifiques incontestables des hauts fourneaux, leurs conséquences ne sont pas estimées et leur présence n'est pas justifiée, les dangers généraux sont négligés.

Le retour d'expérience n'a pas été exploité, nous trouvons un seul accident mentionné au passage sans détailler les causes.

Des mesures de prévention sont recommandées mais uniquement pour le risque d'intoxication par l'oxyde de carbone.

Les méthodes utilisées pour l'identification des risques ne sont pas citées, or, nous trouvons qu'ils sont passés directement à l'un des objectifs de l'analyse des risques qui est l'identification des scénarios d'accidents de façon exhaustive.

L'analyse des accidents et incidents survenus en interne ou sur des installations similaires n'a pas été faite. De plus, les risques d'origine externe ne sont pas tenus en compte.

Des mesures de protection et des recommandations sont proposées sans présenter de nouvelles technologies pour améliorer le niveau de sécurité.

Le système de gestion de la sécurité mis en place sur le site n'a pas été décrit.

Deux scénarios d'accidents majeurs sont retenus, les rayons d'impact et les limites ne sont pas calculés.

Pour finir, ils ont recensé les matériels de sécurité sur le site, donné les mesures d'urgence et planifié la stratégie d'intervention.

En gros, le rapport effectué par le bureau d'étude OPTIME ne contient pas plusieurs éléments indispensables dans l'étude de dangers.

La dispersion atmosphérique ne fait pas partie des scénarios d'accidents majeurs retenus.

Les phénomènes accidentels ne sont pas modélisés afin de savoir s'ils sont susceptibles de donner matière à des effets à l'extérieur des limites du site.

1.3 Problématique

L'étude de dangers est une exigence réglementaire pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation des installations classées pour la protection de l'environnement. Dans d'autres pays, l'élaboration d'une EDD est stipulée par une loi à part. En Algérie, elle est mentionnée dans l'une des sections du décret exécutif n° 06-198.

Parfois, les bureaux d'étude en charge d'élaborer l'étude de dangers obtiennent leurs agréments sans avoir les compétences requises pour le faire. Les rapports de l'étude de dangers des installations algériennes rencontrés sont non complets, y compris celui du Haut Fourneau qui est assez sommaire. Le haut fourneau a été choisi vis-à-vis de son importance au sein du complexe sidérurgique et des risques spécifiques qu'il engendre.

L'un des objectifs de l'étude de dangers est de retenir les scénarios possédant une gravité importante. Pour le faire, il faut passer par l'analyse des risques qui est une succession de plusieurs méthodes choisies selon les caractéristiques du process.

Parmi les méthodes dites intégrées, pouvons-nous trouver une méthode regroupant plus d'aspects qui pourrait renforcer éventuellement les méthodes dites classiques ?

La méthode MADS-MOSAR est-elle à même de répondre à cette préoccupation ?

1.4 Méthodologie

Pour répondre à notre problématique, nous allons suivre les étapes suivantes :

-

- Présentation générale de l'installation
- Description de l'environnement (météorologie, hydrologie, géologie, conditions naturelles)
- Description de l'installation, le fonctionnement de ses équipements et son process de fabrication
- Identification des potentiels de dangers
- Organisation de la sécurité
- Accidentologie
- Analyse des risques
 - ▶ Analyse préliminaire des risques (APR)
 - ▶ Analyse des modes de défaillances, des leurs effets et leur criticité (AMDEC)
 - ▶ Nœud Papillon
 - ▶ MADS-MOSAR
- Estimation des conséquences
- Moyens de maîtrise des scénarios retenus



Figure 1-7 : Démarche méthodologique

Le chapitre 1 a présenté le contexte général de notre étude. Le second chapitre va présenter l'unité d'étude en détail.

CHAPITRE 2 UNITE D'ETUDE : Haut Fourneau

L'unité HF, dont nous avons justifié le choix, va faire l'objet de notre étude de dangers qui exige de rassembler un certain nombre d'informations. Nous allons, dans cette partie, procéder à la description détaillée de :

- L'environnement immédiat de l'installation
- Process de fabrication de la fonte
- Potentiels de dangers
- Organisation de la sécurité
- L'accidentologie interne et externe de l'unité

2.1 Description de l'environnement immédiat de l'installation

L'objectif de cette section est de démontrer que l'environnement naturel et les activités avoisinantes ont été suffisamment analysés du point de vue de l'identification des sources externes de dangers et de la sensibilité du lieu vis-à-vis de l'impact d'accidents majeurs.

2.1.1. Cadre naturel et milieu physique

La zone d'étude est implantée dans une région constituée de 3 grandes parties :

- Les moyennes montagnes (jusqu'à 1000 m), sur substrat métamorphique au Nord (massif de l'Edough),
- Les piémonts et collines (jusqu'à 500 m) sur matériau alluvial ancien,
- La grande plaine (altitude inférieure à 50 m), sur matériau alluvial quaternaire récent dont la surface s'étend bien au-delà du territoire de la wilaya, aussi bien à l'Est (plaine d'EL Taref) qu'à l'Ouest (plaine de l'Oued Kebir, Wilaya de Skikda).

La partie la plus basse de la plaine (altitude inférieure à 15 m) est occupée par le lac Fezzara, vaste cuvette marécageuse partiellement drainée par un canal transversal, actuellement classée comme zone humide d'intérêt écologique.

2.1.2. Caractéristiques du milieu physique

2.1.2.1.Particularités climatiques

La région d'Annaba est caractérisée par des vents dominants du nord et nord-est pour les mois d'avril à octobre (55% en fréquence par année) et par des vents de l'ouest et sud-ouest pour les autres mois de l'année (43 % en fréquence par année).

La zone d'étude présente un climat méditerranéen humide à saisons marquées : été chaud et sec (26,2 °C), hiver doux (10,9 °C). La pluviométrie moyenne est de 458 mm. Les mois les plus humides sont septembre – mai. Mais seule la période Juin - août montre une sécheresse marquée. Cette pluviométrie importante pour le sud méditerranéen présente cependant de grandes variations inter annuelles : d'après l'estimation des pluies fréquentielles, la pluviométrie moyenne varie de 300 mm en année sèche à plus de 1000 mm en année humide.

Pour les besoins du présent rapport, les données de la station d'observation météorologique Annaba -Aéroport, ont été prises en considération.

Les statistiques établies par cette station mettent nettement en évidence l'effet des saisons sur la direction des vents qui sont les plus significatifs en ce qui concerne le maintien de fortes concentrations de polluants dans l'atmosphère des zones exposées à une source d'émission. Pendant les mois froids (novembre à mars), les vents faibles (< 5 m/s) dominants sont des vents d'Ouest (15 % du temps) et surtout des vents de Sud - Ouest (30 % du temps) alors que pendant les mois les plus chauds (mai à septembre) la tendance s'inverse avec les vents faibles dominants d'origine Nord et Nord-est. L'orientation générale des vents correspond à la vallée qui unit la zone des salines au lac Fetzara, entre le massif de l'Edough et le massif de la Medjerda. Les deux régimes saisonniers s'expliquent par l'effet thermique produit par des terres continentales (surchauffées en été et froides en hiver) et par l'emplacement des anticyclones pendant la saison froide et la saison chaude.

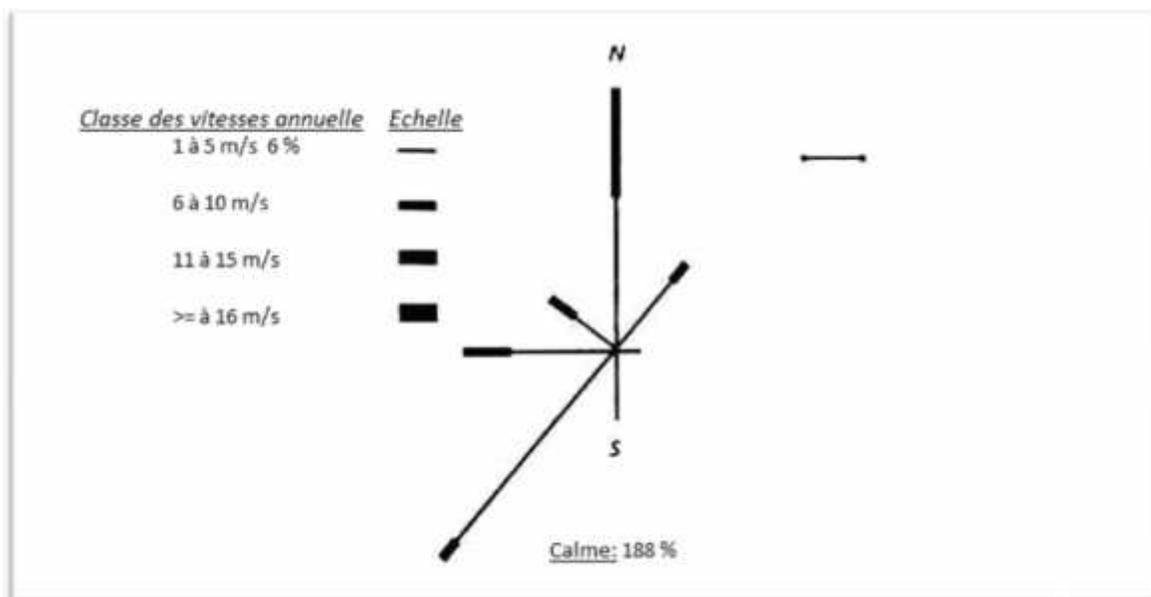


Figure 2-1 :Rose des vents

La température annuelle moyenne y est de 17° C, le mois le plus chaud, soit juillet, une température moyenne de 24,3° C et maximale de 30,1° C alors qu'au mois le plus froid, soit janvier, température moyenne y est de 11,6° C et atteint un minimum de 6,9° C.

La région d'Annaba reçoit annuellement près de 615 mm de pluie (précipitations moyennes annuelles) tandis que le taux d'humidité relative annuel moyen se situe à 73 % (Humidité moyenne annuelle)

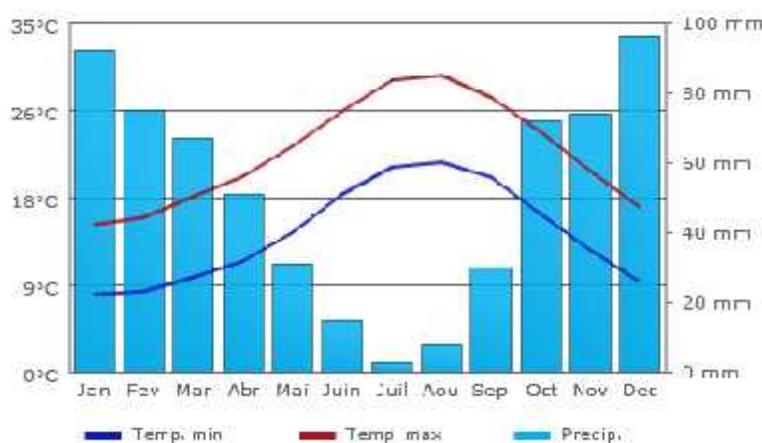


Figure 2-2 :Température et précipitations moyennes annuelles (climatedata.eu)

La classe de stabilité atmosphérique de Pasquill prédominante est D (conditions atmosphériques légèrement neutre) avec une fréquence d'environ 42 % suivie des classes C (conditions atmosphériques légèrement instables) et F (conditions atmosphériques modérément stables) avec une fréquence d'environ 16 % chacune.

2.1.2.2.Réseau hydrographique

Le principal axe hydrographique de la Wilaya d'Annaba est l'Oued Seybouse, deuxième fleuve en d'Algérie, qui s'écoule suivant une direction Sud- Nord, avant de se jeter en mer au Sud d'Annaba.

Les eaux souterraines de la plaine d'Annaba circulent dans deux principaux aquifères superposés :

- La nappe phréatique libre, essentiellement contenue dans les limons superficiels, à faible profondeur (4 à 11 m), d'une épaisseur de 5 à 20 m, cette nappe est en liaison avec les cours des oueds, notamment les Oueds Seybouse et Méboudia, dans la plaine d'Annaba.
- La nappe captive profonde dites « nappe des graviers » d'une épaisseur de 5 à 40 m, qui constitue de loin la réserve la plus importante et la plus exploitée.

2.1.2.3.Nature des sols

La zone d'étude se caractérise par deux types de formations :

- Des terrains cristallins, rocheux, sur lesquels se sont édifiées les villes (veille ville d'Annaba). Ces terrains font partie du massif de l'Edough. Ils affleurent sur la rive gauche du Seybouse par des micaschistes comportant une forte proportion de ferromagnésiens et en particulier du mica blanc et des grenats. Dans ce micaschiste sont intercalés des bancs de calcaire cristallin, formés de gros cristaux de calcite et comportant des inclusions de pyrite.
- Des terrains sédimentaires qui forment la plaine de Annaba et qui ont été déposés par Seybouse plus à l'Est.

Les principales formations de sol se définissent ainsi à partir de la surface du terrain:

- Formations sableuses (épaisseur moyenne variant entre 12 et 14 mètres) ;
- Formation de vase et d'argile (épaisseur moyenne variant entre 7 et 15 mètres).

2.1.2.4. Milieux naturels et ressources biophysiques sensibles

Le projet est localisée dans une zone autrefois agricole. Le milieu écologique sensible le plus évident, dans la zone d'étude est constitué de terres encore exploitées.

2.1.3. Populations voisines

Au dernier recensement établi, la commune d'El-Hadjar compte une population d'environ 40.000 habitants.

Le lieu d'implantation du projet est constitué d'unités industrielles. La population au niveau de ce site varie selon le plan de charge de ces unités industrielles qui comptent environ 600 personnes. Quoique non chiffrée précisément au cours de cette étude, la population dans un rayon d'un (01) kilomètre du projet serait de 200 personnes.

2.1.4. Occupation du territoire

Le site est délimité par :

- Au nord, par la commune d'El Bouni,
- A l'est, par la limite de la wilaya d'El Taref,
- Au sud, par la commune de Chebaita Mokhtar,
- A l'ouest, par la commune de Sidi Amar

2.1.5. Localisation des activités industrielles, commerciales et agricoles

Autour du site d'implantation du projet, nous identifions des unités industrielles. Il y a lieu de noter que l'activité agricole occupe une superficie assez importante dans la commune d'El-Hadjar.

2.1.6. Infrastructures de transport

Le lieu d'implantation du projet est desservi par la RN 46.

2.1.7. Localisation des services hospitaliers, médicaux et sociaux

La commue d'El-Hadjar compte une polyclinique et un hôpital

2.1.8. Localisation des service d'incendie et de protection civile

La Wilaya d'Annaba est pourvue d'un plan Orsec (Organisation des secours) qui intègre toutes les communes de la Wilaya et prend en charge les différents types de risques. Une caserne de protection civile, située à environ trois (03) kilomètres est localisée au niveau du chef-lieu de la commune d'El-Hadjar pouvant intervenir à tout moment au niveau des localités d'El-Hadjar.

2.2 Description de l'unité d'étude

A partir des matières premières (aggloméré et coke) fournies par la PMA, les hauts fourneaux produisent de la fonte liquide destinée aux aciéries à oxygène et le laitier destiné aux cimenteries et travaux publics.

- Le HF1 a été mis en service en 1969 et rénové en 1992. Sa capacité est de 570 000 tonnes par an (actuellement en arrêt)
- Le HF2 a été mis en service en 1980 et rénové en 1998. Sa capacité est de 1 400 000 tonnes par an.

Les HFx sont composées essentiellement de :

- ✓ Atelier de stockage et criblage des matières premières
- ✓ Planchers de coulées
- ✓ Zone cowpers
- ✓ Atelier de traitement gaz
- ✓ Stations de pompage
- ✓ Atelier de soufflage vent
- ✓ Station de traitement des eaux et boues
- ✓ Machines à coulées en gueuses
- ✓ Atelier réfractaires.

En outre, Nous avons, pour le but de notre étude, décomposé l'unité HF en quatre systèmes

- Bloc HF
- Vent chaud
- Épuration des gaz HF
- Eau de refroidissement

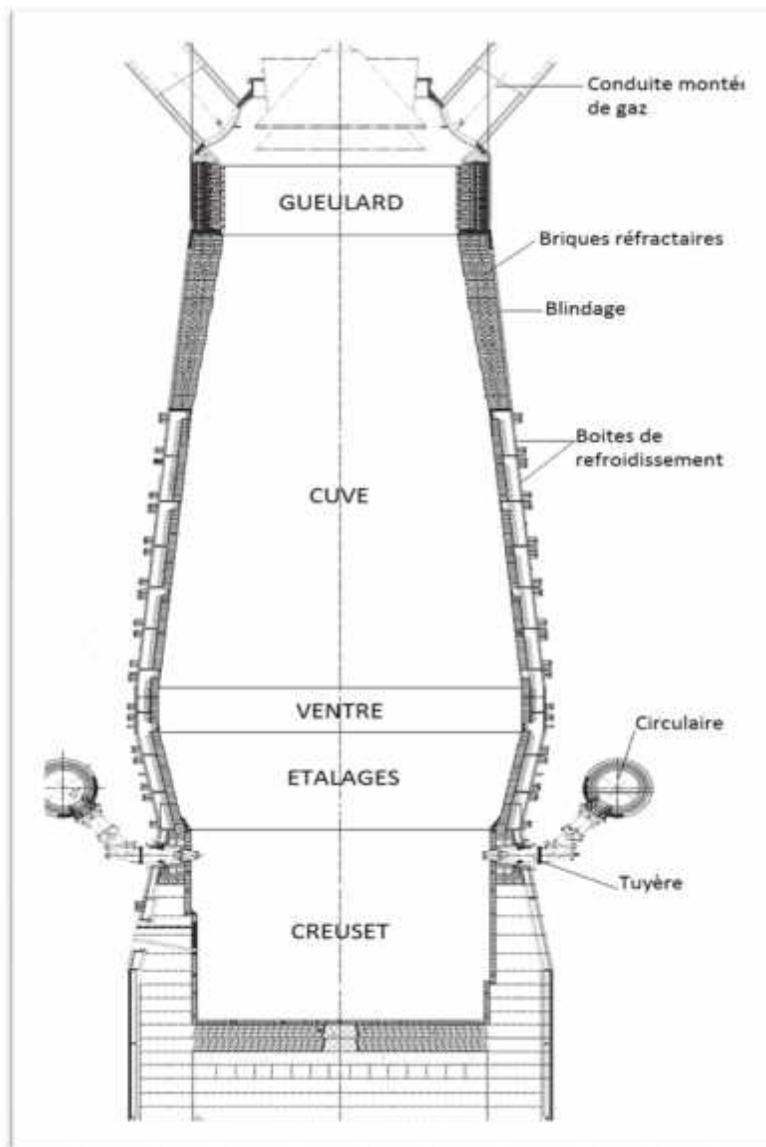


Figure 2-4 : Bloc HF

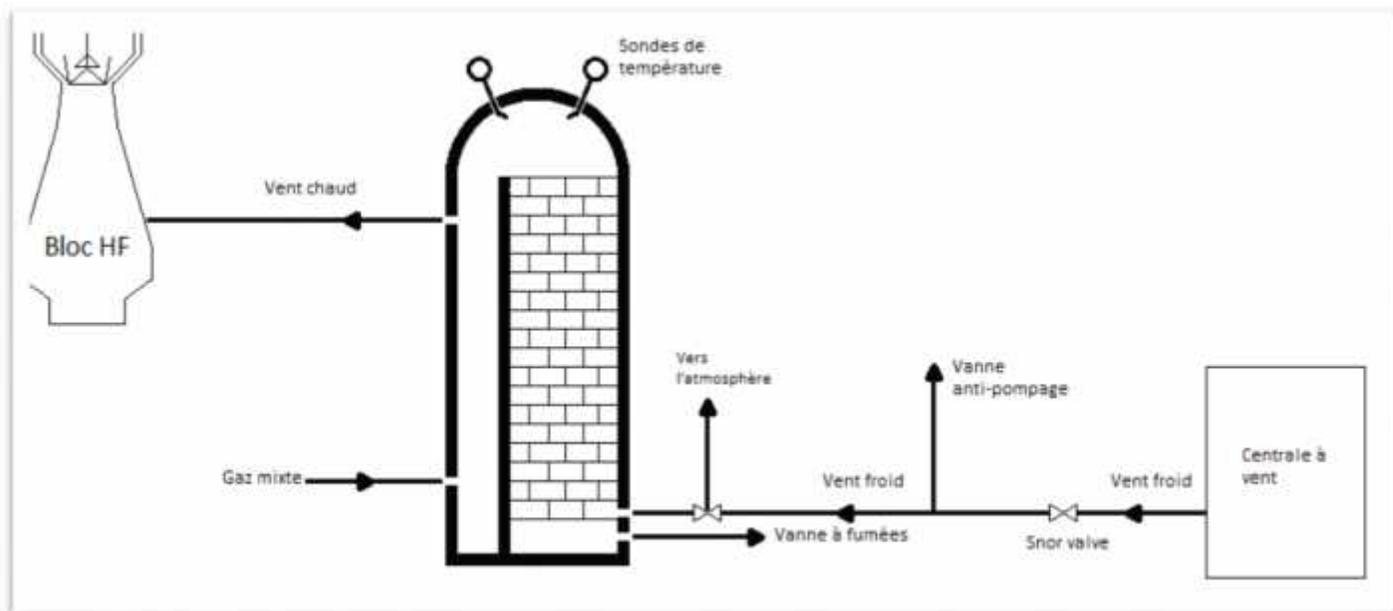


Figure 2-5 : Vent chaud

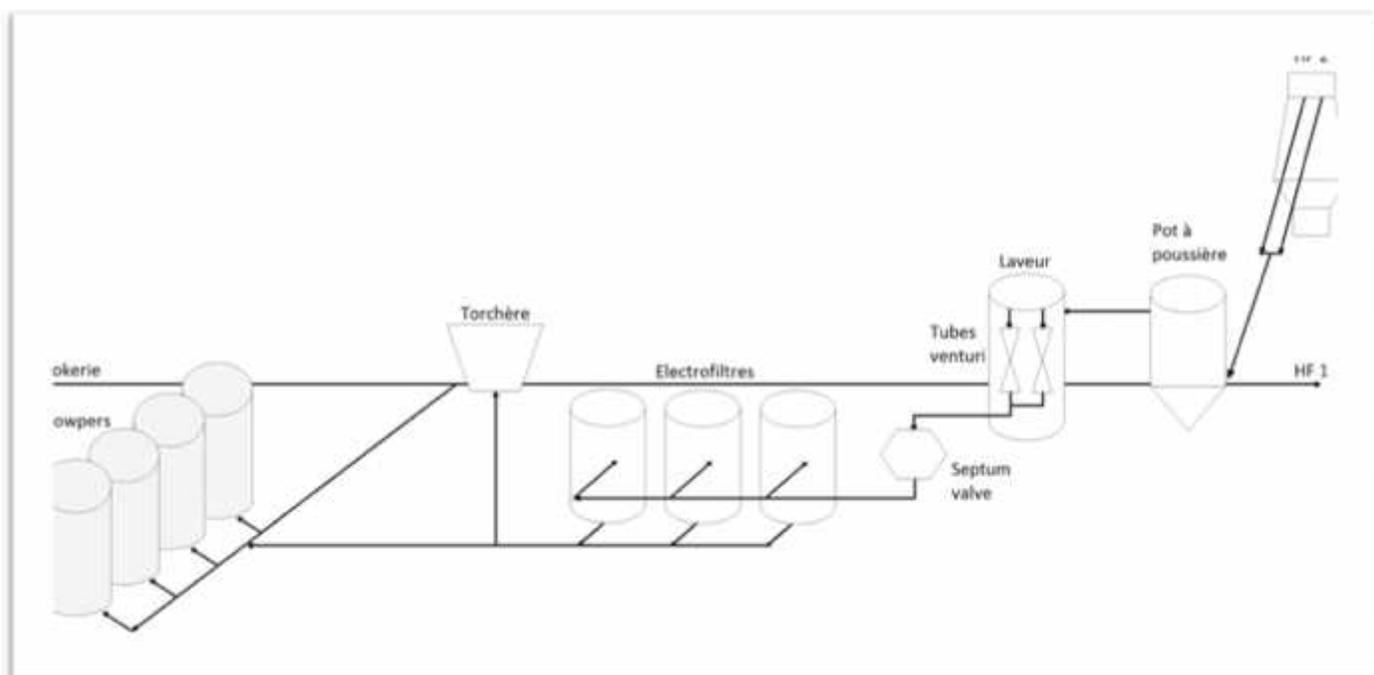


Figure 2-6 : Epuration de gaz

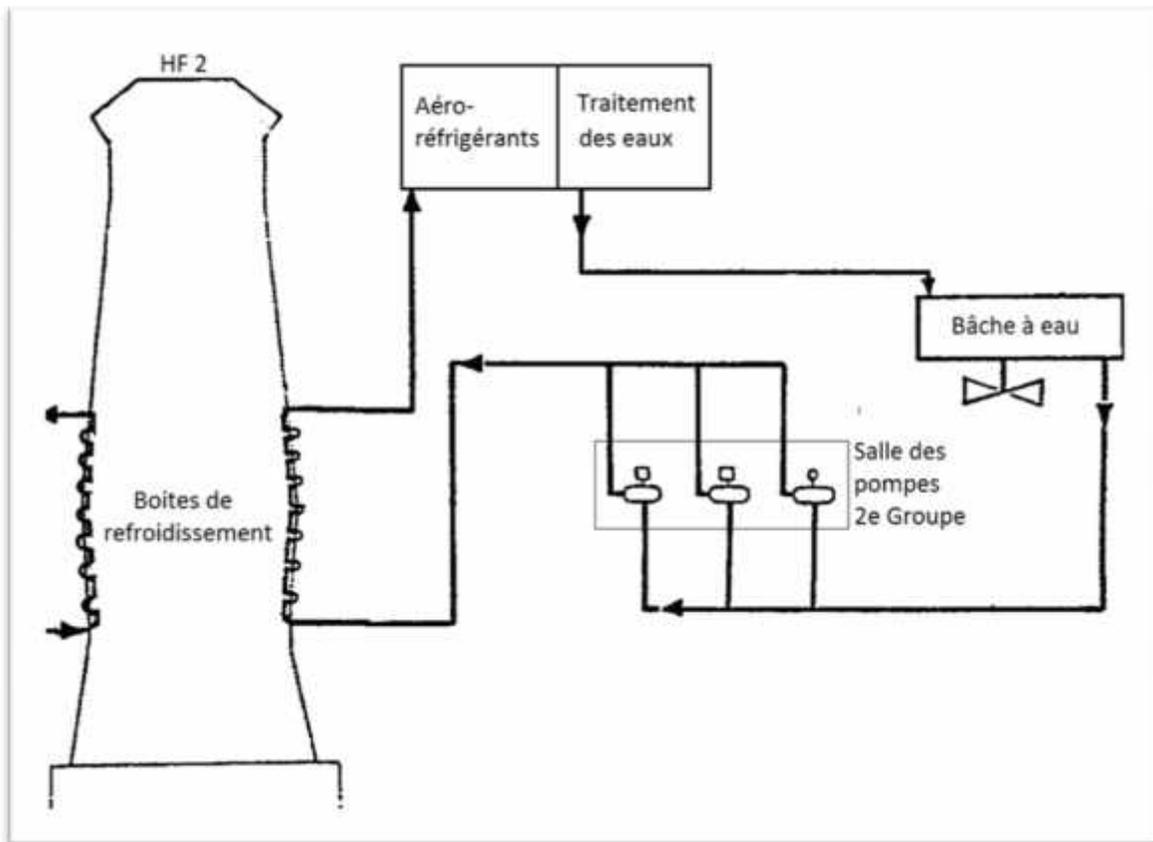


Figure 2-7 : Eau de refroidissement

2.2.1 Fonctionnement du HF n°2

Une station de chargement se situe derrière le haut fourneau, elle alimente le Haut Fourneau en matières premières et additions grâce aux deux skips qui travaillent en alternance.

L'air chaud est soufflé à une suppression déterminée (= 4 bars) par 10 à 24 tuyères placées régulièrement tout autour de l'ouvrage.

L'air chaud envoyé au fourneau est produit par les cowpers qui sont installés à côté de la station d'épuration du gaz. Le haut fourneau possède 4 cowpers commandés par le Poste Central du HF2.

Le circuit d'épuration des gaz HF est composé de : pot à poussière, laveur, tube venturis, septum valves, électro-filtres et la torchère. Une partie de l'air épuré est dirigée vers les cowpers.

Le transport de la fonte liquide, après sans évacuation, se fait dans des poches tonneaux guidées sur des rails.

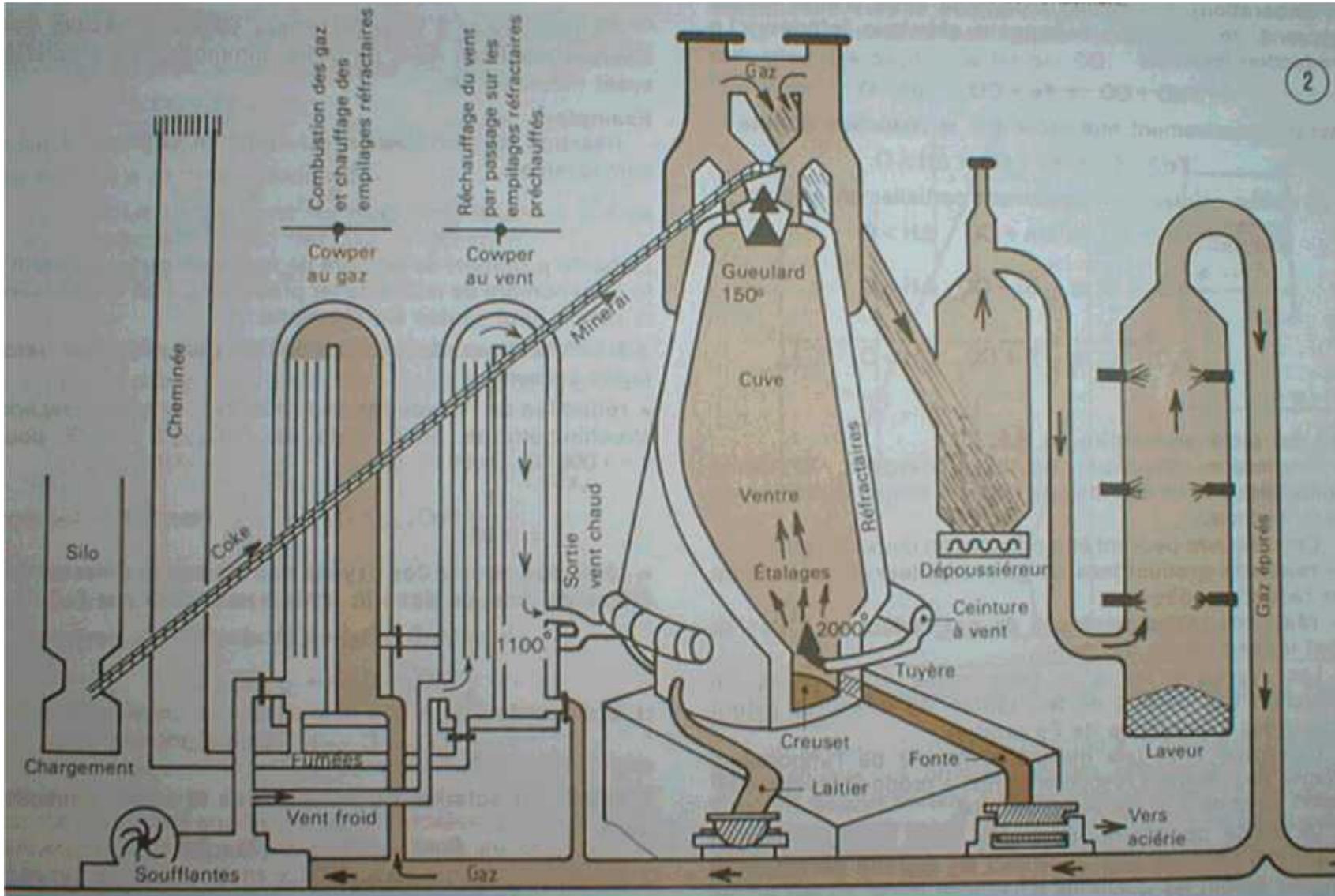


Figure 2-8 : Bloc HF et ses annexes

2.2.2 Process de fabrication de la fonte

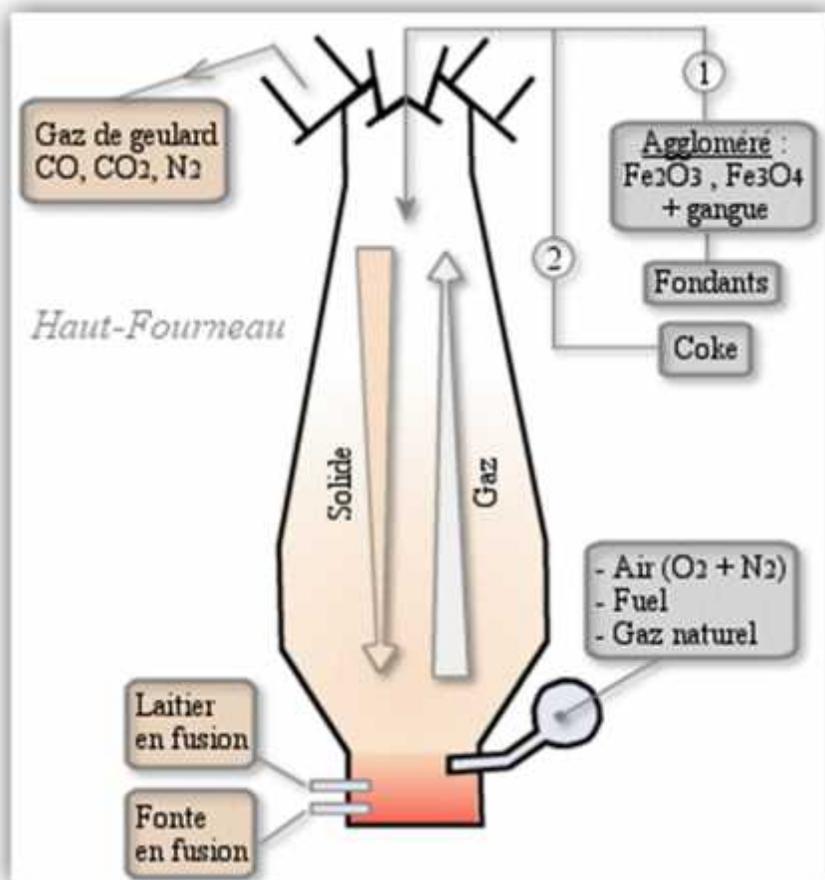


Figure 2-9 : Fabrication de la fonte

Le minerai de fer est une roche qui contient parmi d'autres minéraux une forte proportion d'oxyde de fer et pour extraire le fer de son minerai, il faudra séparer le fer de l'oxygène et éliminer les autres minéraux, mais avant, nous allons préparer le minerai sur une chaîne d'agglomération. Nous obtenons un aggloméré concassé qu'on va faire fondre dans le haut fourneau à très haute température avec du coke.

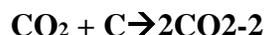
Nous acheminons le coke et l'aggloméré vers le haut fourneau. Le minerai aggloméré et le coke sont chargés en couches alternées de la partie supérieure du haut fourneau. La proportion est de 5 doses de minerai pour une dose de coke et chargement et dosage sont automatisés. Dans le bas du haut fourneau nous insufflons de l'air chaud à presque 1200°C, cela provoque la combustion du coke qui va entraîner la fusion du minerai.

Tableau 2-1 : Bilan de matières pour une tonne de fonte

Coke (kg/t)	460 – 550
Gaz naturel (Nm ³ /t)	140 – 150
Eau industrielle (m ³ /t)	1,6 - 2,5
Electricité (kWh/t)	200
Oxygène (Nm ³ /t)	19
Sous-produit	
Gaz HF (Nm ³ /t)	1480
Laitier (kg/t)	345
Poussière de gaz (kg/t)	12
Boues (kg/t)	8

Dans le haut fourneau, l'union entre le fer et l'oxygène est brisée par le carbone qui a une très forte attirance pour l'oxygène. Nous récupérons la fonte liquide à 1500°C par un trou de coulée situé au niveau du creuset. La fonte est un mélange de 96% de fer et de 4% de carbone.

La combustion du coke s'accompagne de dégagement de dioxyde puis de monoxyde de carbone.



Ce monoxyde de carbone va progressivement réduire les différents oxydes de fer.

Au sommet du haut fourneau (température 150 à 500°C) : le minerai de fer se présente la plupart de temps sous forme d'oxyde Fe₂O₃



Au milieu de la cuve (température 600 à 1000 °C) :



Dans le ventre du haut fourneau (température 1100 à 1300 °C) :



Au niveau des étalages (température 1500 à 2000°C) : au contact du coke, une partie du fer va se transformer en cémentite dont le mélange avec le fer constitue la fonte.



2.2.3 Analyse fonctionnelle

Pour bien comprendre l'installation et pour pouvoir effectuer notre analyse des risques, nous sommes passés par une analyse fonctionnelle qui peut être consultée en annexe 1.

Les systèmes principaux de l'unité HF n°2 ont été décomposés comme suit :

Tableau 2-2 : Décomposition fonctionnelle de l'unité HF

Systèmes	Sous-systèmes	Systèmes	Sous-systèmes
Bloc HF	Gueulard Refroidissement du bloc HF Creuset Evacuation et transport de la fonte	Vent chaud	Partie électrique Partie mécanique + hydraulique Partie compresseur cowpers Injection vent chaud
Epuration de gaz	Pot à poussière Laveur Tube venturi + septum valve Electro-filtres Torchère	Refroidissement HF	Traitement des boues Refroidissement de l'eau avec les aéroréfrigérants Traitement des eaux Salle des pompes Equipements de refroidissement du bloc HF

2.3 Identification et caractérisation des potentiels de dangers

Dans cette section, nous allons aborder l'ensemble des potentiels de dangers inhérents à l'unité HF. Ces potentiels de dangers sont lié aux :

- Produits
- Procédés
- Opérations
- Environnement naturel

2.3.1. Liés aux produits

2.3.1.1. Fonte liquide

La fonte est le produit principal du Haut Fourneau. Lors de sa sortie du trou de coulée, elle peut atteindre les 1500 °C. La fonte liquide est tout aussi "liquide" que de l'eau, elle n'est pas visqueuse comme l'acier en fusion, mais sa température est nettement plus élevée et sa masse est importante. Une coulée de fonte en fusion peut détruire un mur épais facilement.

Tableau 2-3 : Caractéristiques physiques et thermiques de la fonte à 1500 °C

Masse volumique (t/m ³)	Viscosité dynamique (Pa . s)	Tension superficielle (N/m)	Conductivité thermique [W/(K . m)]	Enthalpie entre 25 et 1500 °C (MJ/kg)
6,4	0,005	1,3 à 1,7	16,5	1,3

2.3.1.2. Gaz HF

Le gaz produit par le Haut Fourneau, aussi appelé gaz de gueulard, contient de 22 à 24 % de dioxyde de carbone (CO₂), 18 à 21 % de monoxyde de carbone (CO), 52 à 59 % d'azote (N₂) et 1 à 3 % d'hydrogène (H₂). Un tiers du gaz produit est directement réutilisé aux cowpers. Convenablement dépoussiéré et éventuellement enrichi par des gaz plus énergétiques, sa combustion ne dégage que peu de fumées et de polluants, excepté une grande quantité de CO₂, un gaz à effet de serre.

Tableau 2-4 : Caractéristiques du gaz HF

Production (m ³ /t de fonte)	Température (°C)	Pression (10 ⁵ Pa)	Pouvoir calorifique inférieur (MJ/m ³)
1480	168	1,34	3,06

2.3.1.3. Gaz Naturel

Le gaz naturel est injecté dans les tuyères à l'entrée du vent chaud et aussi dans le gaz HF dans les cowpers pour augmenter son pouvoir calorifique. C'est un gaz inflammable et asphyxiant. Ses limites d'explosivité sont : 5% et 15%

2.3.1.4. Gasoil

Le gasoil est un combustible utilisé dans les moteurs diesel de secours et pour la maintenance des pièces. Ses principales caractéristiques :

- Masse volumique : 820 à 860 kg/m³
- Point d'éclair : >55 °C et <120 °C
- Température d'auto-inflammation : 250 °C
- Limite d'explosivité dans l'air (LIE-LSE) : 0,5 % - 5 % en vol
- Pression de vapeur (20 °C) : <1 kPa
- Densité de vapeur : > 5

2.3.1.5. Huiles hydrauliques

Les huiles hydrauliques sont utilisées pour la lubrification des différents accessoires et équipement de l'installation, ainsi comme des huiles motrices et des huiles de soulèvements dans la centrale à vent.

Tableau 2-5 : Consommation semestrielle des huiles

Type d'huile	Consommation semestrielle
HUILE EAU GLYCOL HQ 500	880
HUILE HYDRO SAFE HQ 2350	2200
HUILE TORADA TC	600
HUILE BORAK 22	
HUILE POUR RINCAGE	800
HUILE TORBA 46 EX 44 TURBINE	1356
HUILE TORBA 68 EX 55 TURBINE	
HUILE TISKA 46 EX 44 24 A 30	4320
HUILE TISKA 68 EX 55 34 A 42	1005
HUILE TISKA 15 EX 22 9 A 111	
HUILE TISKA 1022 12,5 A 15,5	949
FODDA 150	2200
HUILE FODDA 220	
HUILE FODDA 460	
HUILE CHELIA SAE 40 SONATRACH	

TOTAL	14310
-------	-------

2.3.1.6.Déchets

Les déchets générés par l'unité HF sont cités dans le tableau 2-6.

Tableau 2-6 : Classement selon le décret 06-104 portant sur la nomenclature des déchets

Nature	Dénomination interne	Code	Classification selon nomenclature	Classe de déchet	Modalité d'élimination
Liquide	Huile de vidange usagée	13.1.8	Autres huiles hydrauliques	(SD) Spécial Dangereux	Valorisation par commercialisation Recyclage en interne
Solide	Transformateurs à PCB usagés	16.2.1	Transformateurs et accumulateurs contenant des PCB	(SD) Spécial Dangereux	Entreposage intermédiaire
	Briques réfractaires usagés	16.11.4	Autres revêtements de fours et réfractaires provenant de procédés métallurgiques contenant des substances dangereuses	(S) Spécial	Valorisation par commercialisation Recyclage en interne
Pâteux	Boue HFx	10.2.9	Boue et gâteaux de filtration provenant de l'épuration des fumées autres que ceux visés à la rubrique 10.2.8	(S) Spécial	Recyclage en interne
Poussière	Poussière de gaz	10.2.4	Déchets solides 10.2.3	(S) Spécial	Recyclage en interne

2.3.2. Liés aux procédés

2.3.2.1. Transport de la fonte

La fonte liquide est transportée du Haut Fourneau aux aciéries dans des poches tonneaux d'une capacité de 200 tonnes.

En janvier 1906, aux Forges de Hennebont (Morbihan) une poche de fonte liquide du poids total de 26000 kg, s'est renversée par suite de la rupture des rails. L'avalanche de feu a atteint dix ouvriers dont trois ont été carbonisés sur le champ. Les sept autres ont été blessés à mort. Cinq autres ont été grièvement brûlés. [4]

La maintenance des rails en bon état constitue un élément capital pour éviter ce genre d'accident.

2.3.3. Liés aux opérations

Des opérations présentant des risques spécifiques sont citées dans le tableau 2-7

Tableau 2-7 : Risques présentés par les opérations

Opérations	Domage	Moyen de protection
Perçage des tuyères / trou de coulée à l'aide de la lancée à oxygène	Brûlure	Port de tenue aluminées
Vérification visuelle des boîtes de refroidissement	Asphyxie	Port de masque respiratoire et détecteur de gaz
Séparation laitier-fonte	Brûlure	Port de tenue aluminées

2.3.4. Liés à l'environnement naturel

2.3.4.1. Séismes

L'Algérie a été soumise à plusieurs séismes dont ceux rapportés par *Engineering-Environment-Consult* (E. E. C.) ci-après :

- Séismes de Guelma (1928,1937) située à environ 60 Km au sud-ouest de la commune d'El-Hadjar ;

- Séismes de Constantine (1908,1974) située à environ 150 Km au sud-ouest d'Annaba ;

La région immédiate d'Annaba semble avoir été relativement épargnée, toutefois les secousses des régions avoisinantes pourraient être ressenties. Les effets associés à un tremblement de terre sur le secteur de l'étude seraient toutefois probablement atténués vu la nature des sols en place (alluvions, graviers, sable).

2.4 Système de gestion de sécurité

Le système de gestion de sécurité constitue le fondement des méthodes d'identification et de résolution de toutes les questions de la santé et de la sécurité. Ce système repose sur une combinaison de politique, principes et procédures dans le but d'atténuer les risques pour l'entreprise.

2.4.1. Politique Santé& Sécurité

La sécurité est la priorité numéro 1 d'ArcelorMittal Algérie, et cela est affiché par l'engagement de la direction générale de l'entreprise dans la politique santé & sécurité de l'entreprise.

ArcelorMittal Annaba


ArcelorMittal

Politique de Santé et de Sécurité

La Santé et la Sécurité de notre propre personnel et du personnel des sous traitants travaillant sur notre site sont au cœur de nos préoccupations

A ce titre, je m'engage à :

- Faire de cette Politique de Santé et de Sécurité une priorité et un acte de management Quotidien.
- Mettre en place et à la disposition de tous, les outils et moyens pour l'amélioration en continu des résultats de sécurité.
- A ce que notre objectif soit l'atteinte d'un niveau d'excellence en matière de Santé et de Sécurité.



J'affirme en conséquence mon engagement personnel pour la mise en pratique des principes suivants :

1. Assurer en permanence à tout le personnel un environnement de travail sûr, propre et sain
2. Mettre à la disposition du personnel tous les moyens et les ressources nécessaires pour l'atteinte de ce but.
3. Respecter les obligations légales et réglementaires
4. Identifier, évaluer, supprimer ou minimiser les risques industriels et sanitaires sur les postes et environnements de travail, ceci dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue et de prévention des préjudices personnels et des atteintes à la santé.
5. Poursuivre le programme de développement des consignes, procédures et méthodes de travail, veiller à leur application et à la tenue d'exercices pour les situations d'urgences
6. Inciter tout le personnel, quel que soit son niveau hiérarchique et tous les sous-traitants à observer un comportement individuel exemplaire pour assurer sa propre sécurité et celle d'autrui, et un comportement respectueux des installations, outils et environnements de travail.
7. Assurer à tout le personnel la formation nécessaire pour accroître ses compétences
8. Assurer à tous le droit d'exiger le respect des procédures de Santé et de Sécurité et d'alerter la hiérarchie en cas de manquement.
9. Exiger que les sous traitants suivent strictement les mêmes règles de Santé et de Sécurité que le personnel AMA, et que leur sélection se fasse en considérant au même titre que les critères techniques et économiques, leurs performances de sécurité
10. Maintenir les mécanismes de concertation avec les partenaires sociaux
11. Fixer pour le personnel d'encadrement des objectifs clairs en matière de Santé, de Sécurité et de tenue en ordre des ateliers « 5s ». Ces objectifs seront suivis et revus régulièrement lors des rencontres mensuelles de santé et de sécurité.
12. Communiquer en toute transparence sur ces domaines en interne comme dans tout le groupe ArcelorMittal

Je m'engage personnellement à ce que l'adhésion à cette politique:

- Implique la contribution active de chacun à l'amélioration des conditions de sécurité et de la prévention des accidents, quel que soit son niveau hiérarchique
- Constitue un élément important de l'évaluation de tout le personnel de l'entreprise.

Chacun d'entre nous doit être conscient qu'aucune priorité ne peut s'exercer au détriment de la Santé et de la Sécurité des travailleurs, et que l'excellence en ces deux domaines contribue au développement de notre usine.

Le comité exécutif et les différents acteurs de notre société, s'engagent à améliorer régulièrement la politique de l'Entreprise et les résultats qui en découlent, ainsi que l'efficacité et l'efficience du système de management, tout en mobilisant les collaborateurs vers des objectifs communs d'excellence.

La mobilisation et l'engagement de tous, ceux qui travaillent avec nous et pour nous sont les clés de la réussite de cette politique


 Directeur Général
 ArcelorMittal Annaba
JOE KAZADI



2012 Mars 29

Figure 2-10 Politique Santé & Sécurité d'ArcelorMittal

2.4.2. Organisation de la sécurité

L'organisation actuelle est représentée dans l'organigramme ci-dessous :

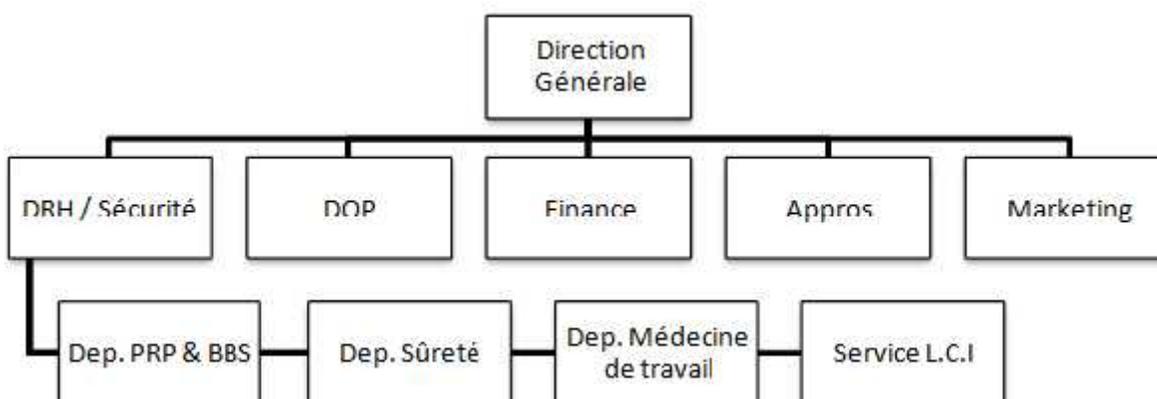


Figure 2-11 : Organisation de l'entreprise

La direction sécurité est organisée en quatre départements :

- Département PRP & BBS : département de prévention des risques professionnels. Ce département a comme rôle de définir la politique de l'entreprise en matière de sécurité, de proposer et de déployer les programmes pour l'atteinte des objectifs. Il est organisé et géré par une équipe en central et des représentants au niveau des unités opérationnelles.
- Département sûreté interne : il a pour rôle la sûreté au niveau du complexe, le gardiennage au niveau des accès et la gestion des entrées et sortie des matières
- Département médecine de travail : il a pour rôle le développement de la médecine de travail en milieux professionnels. Ce département assure une médecine préventive à travers des visites médicales périodiques pour l'ensemble des travailleurs, les études de postes et visites des médecins de travail sur les lieux de travail, participation des médecins dans les commission d'hygiène et de sécurité des unités et de l'entreprise. Le département gère aussi les urgences par la prise en charge des accidentés. Il possède également un laboratoire et un service de radiologie
- Service LCI : lutte contre l'incendie. Ce service a pour rôle d'assurer les secours en cas d'accident et d'incendie. Il dispose d'un personnel formé (pompier interne) et des équipements d'urgences (camions de lutte contre les incendie, des ambulances

médicalisés ...etc.). Le service LCI est appelé aussi à faire des exercices d'intervention régulièrement pour l'application du plan interne d'intervention (PII)

2.4.3. Management des crises

Il existe deux types d'accidents :

- Accident de travail mineur :

Ces types d'accidents sont caractériser par l'atteinte à la santé et/ou aux installations sans risques sur les travailleurs et installations environnante, pour ce cas, les opérations sont gérer à travers une procédure interne gestion des urgences, où, les interventions de secours et de la gestion de l'accident se fait par les moyens de l'entreprise, en premiers lieu, par les opérateurs formés sur le secourisme et l'utilisation des moyens de lutte contre l'incendie, en deuxième lieu, par le service LCI, ce dernier doté par des moyens plus important avec aussi un personnel qualifié,

Dans tous les cas, des enquêtes sont enclenchée par les RMS en collaboration avec le directeur de l'unité avec un rapport détaillé qui est obligatoirement à transmettre au département PRP avec les mesures préventives et correctives à mettre en place pour que le même type d'accident ne se reproduit plus, le département PRP après étude et validation du rapport le transmettra à tous les directeurs d'unités a titre de retour d'expériences, et pour aussi mettre les barrières préventives pour que cet événement indésirable ne se reproduise pas dans d'autres unités.

- Accident majeur :

Ces types d'accidents sont caractériser par leurs ampleurs qui sont importantes, où les moyens de l'entreprises peuvent ne pas maitriser l'événement. Ces scénarios de risques majeurs ont fait l'objet d'une étude de dangers sur laquelle ils sont identifiés, les opérateurs ont eu connaissance sur ces scénarios, et les pompiers internes font régulièrement des exercices d'entraînement.

Lors de survenance d'un accident majeur, le plan interne d'intervention est mis en œuvre, et la protection civil peut intervenir en cas de demande de renfort émise par la direction sécurité de l'entreprise et aussi information des autorités, si il s'avère que l'événement n'est pas encore maitrisable le Wali qui est le premier responsable de la wilaya sera informé et par rapport à l'évolution des opérations peut enclenché le plan ORSEC à travers la mobilisation des moyens de l'état au niveau de la wilaya pour cerner l'accident, si à travers cette organisation l'accident s'avère très graves et peut mettre en péril les localités avoisinante les autorités peuvent prendre la

décision de mettre en place une cellule d'urgence au niveau du ministère et enclenchée une situation de crise, ou les moyens nationaux et même internationaux peuvent être mis en place pour gérer cet accident.

2.4.4. Plan de prévention

Le plan de prévention au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar s'articule essentiellement sur la mise en place de l'OHSAS qui comporte les programmes suivants :

- ✓ Conformité aux lois et textes réglementaires.
- ✓ Analyse des risques
- ✓ CHS
- ✓ Médecine de travail
- ✓ Sondage d'opinion
- ✓ Audits de sécurité
- ✓ Audits LVR
- ✓ PII
- ✓ Enquête et analyse des accidents
- ✓ Procédures de sécurité (11 procédures de sécurité sont mises en place)
- ✓ Plan de formation

2.5 Accidentologie

L'accidentologie constitue un élément crucial dans l'analyse des risques, elle fournit les connaissances nécessaires pour mener à bien son étude de dangers

2.5.1. Accidents survenus sur le site

- Écrasement au plancher des tuyères

25/08/2012 - Profitant de l'arrêt du HF2 suite au manque d'agglomération, une équipe de fondeurs a procédé au réglage et l'ajustage du busillon de la tuyère n°19 (laissé en consigne suite à une fuite du vent chaud). En entamant l'opération, les fondeurs ont constaté le blocage du détendeur, alors ils ont fait appel à l'équipe mécanique pour le déblocage de ce dernier. En exerçant une force de pression en un seul coup sur la barre pour mieux faire l'emboîtement, cette dernière était un peu longue et causant ainsi en fin de sa course l'écrasement de deux doigts de la main droite de la victime contre la lisse du garde-corps. Après avoir emboîté le busillon dans la tuyère en le

soulevant à l'aide d'une barre à mine, cette dernière dans sa course, percuta de plein fouet la main gauche de la victime posée contre la lisse du garde-corps. La victime a perdu conscience et a été évacuée vers le service des urgences de l'usine et puis transférée vers l'hôpital d'Annaba.

- Brûlures

11/11/2013 - Pour préparer le démarrage du haut fourneau après une longue période d'arrêt, la procédure de démarrage consiste à faire vérifier le fond des 24 tuyères installées si elles sont débloquées à l'intérieur du haut fourneau pour faciliter l'écoulement du vent chaud et du gaz naturel par la suite (durant le fonctionnement normal du HF2). Après vérification, ils ont constaté que la tuyère n°13 est bloquée par la crasse. A cet effet, le fondeur a été appelé pour le débouchage et le nettoyage de la tuyère à l'aide de la lance à oxygène. Après l'usure du tube à oxygène, et en voulant le remplacer, à ce moment-là, une propagation de flammes s'est produite à travers la tuyère qui a touché le fondeur au niveau de son dos. Conséquence: brûlures superficielles de 2ème degré sur le dos.

- Écrasement

07/11/2013 - Pour la mise en place d'un moteur sur son support, les électriciens procèdent à son élingage, la manutention est assurée par un palan électrique, l'agent était en train de guider le moteur avec sa main pour que les trous du moteur et les trous de fixation soient face à face, au moment de la pose du moteur, la main de l'agent a été écrasée entre le moteur et le support. Conséquence : traumatisme avec plaie superficielle au niveau de la main gauche.

- Heurt

03/07/2013 - Lors d'une opération de vidange et d'évacuation du laitier granulé accumulé au fond du bache n°01 de la zone de granulation au moyen d'une grue, benne de remplissage et un BOBCAT, l'agent de granulation a pour mission de guider la benne lors de sa descente pour qu'elle prenne une position adéquate afin de faciliter le remplissage du laitier par le BOBCAT (petit chargeur), dans une manœuvre de montée pour ajuster la position de la benne, et au cours de guidage avec les mains, l'agent se positionna entre la benne et la conduite à soudainement heurté par le coin de la benne lui causant ainsi des fractures sur deux côtes du thorax.

- Brûlures

26/11/2013 - Après un certain temps d'écoulement de la fonte et crasse depuis le haut fourneau via le trou de coulée, le chef fondeur a constaté que le niveau de liquide se lève dans la rigole mère ce qui signifie qu'un débordement allait survenir. A ce moment, l'agent qui portait une veste aluminée et les guêtres, a commencé à barboter la botte (passage sous le siphon) avec l'oxygène pour faciliter l'écoulement via la botte et par conséquent diminuer le niveau de liquide dans la rigole mère. Après un certain temps il ya eu une projection intense de la fonte liquide, à ce moment le chef fondeur allés'enfuir mais la fonte liquide lui a touché sur son mollet gauche. Conséquences: brûlures au niveau du mollet gauche avec un arrêt de travail de 15 jours.

2.5.2. Accidentologie externe

- Explosion du Haut Fourneau PORT TALBOT – Royaume-Uni

08/11/2001 - Le haut-fourneau a éclaté en raison d'une surpression interne importante provoquée par une réaction eau-métal en fusion dans la partie inférieure du four. L'explosion s'est produite après une tentative prolongée – sur deux jours – pour récupérer le four d'une situation dégradée de « foyer froid » dû à une infiltration d'eau de refroidissement. L'eau du système de refroidissement a pénétré dans le four à la suite d'une chaîne d'événements initiés par la défaillance de systèmes de refroidissement critiques pour la sécurité. Trois employés qui se trouvaient sur le four décèdent, 17 employés et sous-traitants sont blessés au niveau de l'aire de coulée, dont 5 grièvement. Les dommages matériels s'élèvent à 2 M d'euros. (ARIA)

- Explosion dans le Haut Fourneau APPLEBY-FRODINGHAM – Royaume-Uni

04/11/1975 - En essayant d'éteindre des flammes qui ont déclenché sur une tuyère, l'eau a pénétré dans une poche contenant de la fonte liquide. Lors de son déplacement, La locomotive et les poches tonneaux ont déraillé suite à une explosion. Quatre hommes ont été tués sur le coup. Sept autres sont morts plus tard à l'hôpital à la suite de leurs blessures. Quatre-vingt-dix tonnes de fer ont été jetés de la poche.

Explosion des Hauts Fourneaux CATO RIDGE – Afrique du sud

24 / 02 / 2008 - Une explosion se produit un dimanche matin dans un des hauts-fourneaux d'une usine de production de ferromanganèse entraînant la chute d'un mur de la salle de contrôle ; 5 morts et 4 blessés graves sont à déplorer. Selon la presse, un contact eau / métal en fusion

pourrait être à l'origine de l'accident. Les autorités compétentes ordonnent la fermeture de l'usine afin de permettre à l'inspection du travail d'évaluer le niveau de sécurité des installations.

CHAPITRE 3

PRESENTATION DES METHODES D'ANALYSE DES RISQUES ET RESULTATS

Dans le présent chapitre, nous allons présenter les méthodes d'analyse des risques utilisées

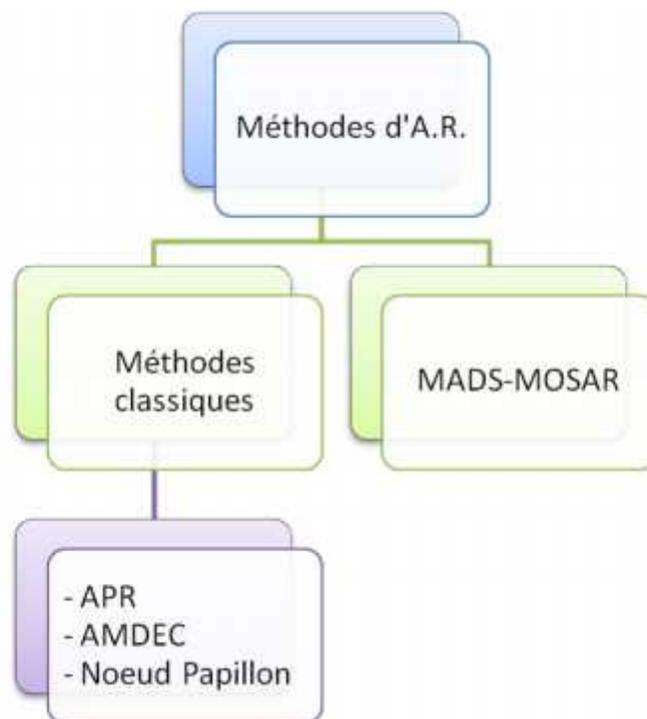


Figure 3-1 : Méthodes d'Analyse des risques utilisées

Dans un premier temps nous présentons la théorie de la méthode, suivie des résultats et interprétations.

3.1. DEMARCHE 1 : Combinaison des méthodes classiques

3.1.1. Analyse Préliminaire des Risques (APR)

L'analyse préliminaire des risques (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 » (CEI 300-3-9, 1995)

l'APR est une démarche qui commence dès qu'une démarche de maîtrise des risques apparaît nécessaire dans un projet avant qu'il soit question de méthodes d'évaluation de risques (AMDE,

AMDEC, arbres de défaillance et autres...) qui traiteront uniquement les éléments et les situations nécessitant une attention plus particulière. Elle est couramment utilisée au stage préliminaire de la conception d'une installation, elle fournit les premières formes des consignes d'exploitation et de sécurité.

3.1.1.1 Principe

La démarche APR peut prendre des formes diverses. Néanmoins, sous des apparences variées, nous retrouvons systématiquement trois phases qui sont aussi trois objectifs :

- Identification des dangers, des événements redoutés à prendre en compte

La définition du système étudié permet d'identifier la totalité des événements redoutés devant être pris en considération, ainsi que les accidents qui peuvent arriver et leur enchaînement logique (causes, conséquences...)

- Évaluation et classement des risques associés

L'évaluation des risques se fait par l'attribution d'une gravité et d'une probabilité à chaque événement recensé. Ensuite, la confrontation des criticités aux objectifs de la démarche de maîtrise des risques, c'est-à-dire aux seuils prédéfinis selon le besoin de l'entreprise.

- Propositions des mesures de couverture des risques.

Il s'agit de recommander des mesures de prévention pour diminuer la fréquence des événements redoutés et des mesures de protection pour diminuer la gravité de leurs conséquences. Le choix des mesures se fait selon leur efficacité, celles qui réduisent le risque au meilleur prix sont les meilleures.

3.1.1.2 Déroulement

Après avoir choisi le système et la phase opératoire sur lesquelles nous voulons appliquer l'APR :

1. Considérer un événement redouté qui peut être appelé situation dangereuse.
2. Envisager toutes les causes et les conséquences conduisant ou découlant de cet événement.
3. Identifier les barrières de sécurité existantes (protection et prévention)
4. Évaluer le risque associé avant et après la mise en place des barrières de sécurité.

5. Si le risque est jugé inacceptable, proposer des améliorations.
6. Identifier le phénomène dangereux pour chaque évènement redouté (s'il existe)
7. Considérer un nouvel évènement redouté pour la même phase opératoire et reprendre la même démarche.
8. Lorsque tous les évènements redoutés sont examinés, passer à la phase opératoire suivante ou retenir un nouveau système.

Cette démarche est synthétisée dans le tableau suivant :

Tableau 3-1 : Tableau type APR

Système :													
Phase opératoire/ Équipement	Évènement Redouté	Causes (Évènement initiateur)	Conséquences	G _i	F _i	C _i	Mesures de protection	G _r	Mesures de prévention	F _r	C _r	Recommandations	PhD

3.1.1.3 Fréquence, gravité et criticité

La fréquence ne joue pas un rôle important dans la méthode APR. Ce n'est pas une méthode fine de recherche d'un juste équilibre, mais plutôt une méthode fruste de recherche des points justifiant une approche plus fine. Par contre l'évaluation de la gravité est un élément de décision essentiel.

Les échelles utilisées pour évaluer la gravité et la fréquence sont représentées par les tableaux suivants :

Tableau 3-2 : Grille de gravité [5]

Cotation	Gravité	Signification
1	événement mineur	perte de production sans perte de client
2	événement significatif	blessé léger, perte de clients, dégâts aux installations
3	événement grave	blessé grave, destruction de l'outil de production, atteinte grave à l'environnement
4	événement catastrophique	morts, destruction totale de l'installation, atteintes catastrophiques à l'environnement

Tableau 3-3 : Grille de fréquence [5]

Cotation	Fréquence
1	Rare
2	Peu fréquent
3	Fréquent

Tableau 3-4 : Gravité-fréquence et le critère de décision [5]

Fréquence		Gravité			
		Catastrophique	Grave	Significatif	Mineur
		4	3	2	1
Rare	1	Inacceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Peu fréquent	2	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable	Acceptable
Fréquent	3	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable

Les résultats de la méthode sont présentés dans l'annexe B

3.1.1.4 Limites et avantages

L'enchaînement des évènements conduisant à des accidents majeurs ne peut être finement caractérisé par APR qui sert pour identifier les points critiques qui feront l'objet d'une analyse plus détaillée.

3.1.1.5 Interprétation des résultats

Les évènements redoutés sont répartis comme suit :

Bloc HF : 22 évènements redoutés dont

- ✓ 45.5% de criticité élevée
- ✓ 50% de criticité moyenne
- ✓ 4.5% de faible criticité

Vent chaud : 9 évènements redoutés dont

- ✓ 22.2% de criticité élevée
- ✓ 66.7% de criticité moyenne
- ✓ 11.1% de faible criticité

Epuration de gaz : 7 évènements redoutés dont

- ✓ 42.8% de criticité élevée
- ✓ 42.9% de criticité moyenne
- ✓ 14.3% de faible criticité

Eau de refroidissement : 4 évènements redoutés dont

- ✓ 25% de criticité élevée
- ✓ 25% de criticité moyenne
- ✓ 50% de faible criticité

Chargement de matières : 5 évènements redoutés dont

- ✓ 0% de criticité élevée
- ✓ 60% de criticité moyenne
- ✓ 40% de faible criticité

Le système chargement de matières va être exclu de l'analyse détaillée des risques.

Le bloc HF est le système le plus critique.

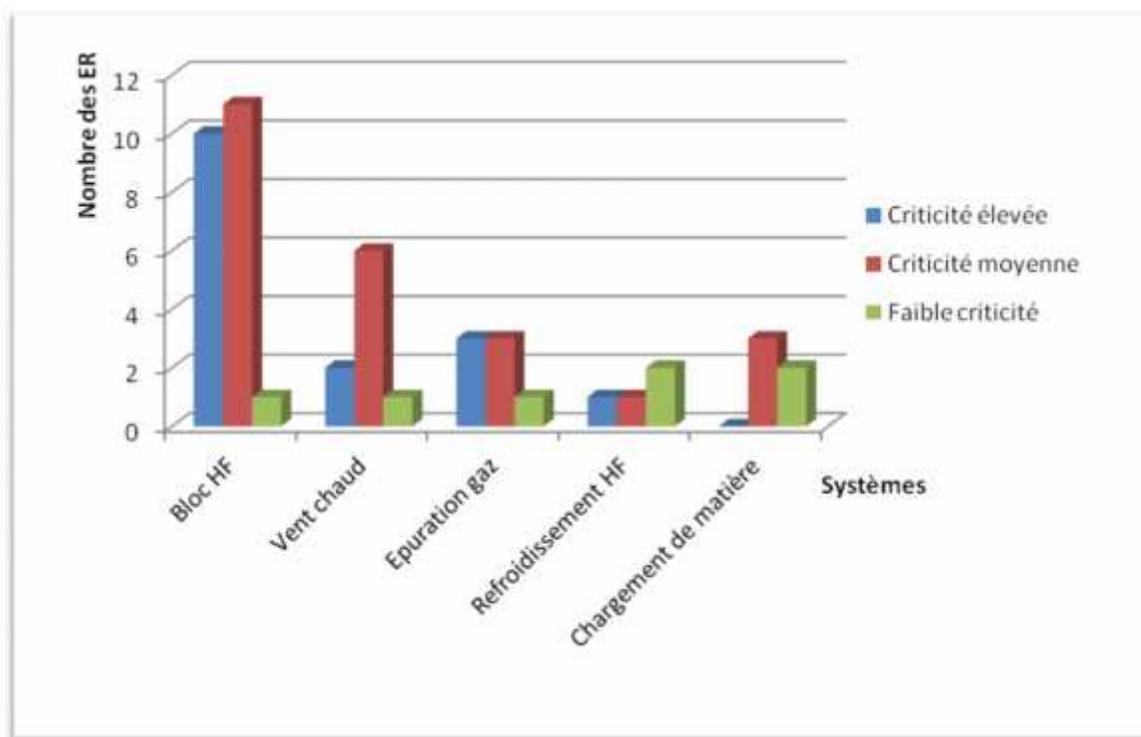


Figure 3-2 : Répartition des évènements redoutés sur les systèmes de l'unité HF

3.1.2 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

AMDEC : analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités, en version française. Et FMEA : *Failure Mode and Effects Analysis* en version anglaise, ou *FMECA* en ajoutant *Criticality* au sigle initial.

3.1.2.1 Historique et domaine d'application

L'AMDEC a été employée pour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960. Ensuite, son utilisation s'est largement répandue à d'autres secteurs d'activités tels que l'industrie chimique, pétrolière ou le nucléaire.

Il s'agit d'une méthode inductive d'analyse des systèmes de technologies différentes (systèmes électriques, mécaniques, hydrauliques...) et peut s'appliquer aussi à des systèmes qui combinent plusieurs techniques.

L'AMDEC est un outil de l'amélioration continue et peut être adaptée à la roue de Deming. C'est dans la répétition de cette méthode que se fera l'amélioration continue.

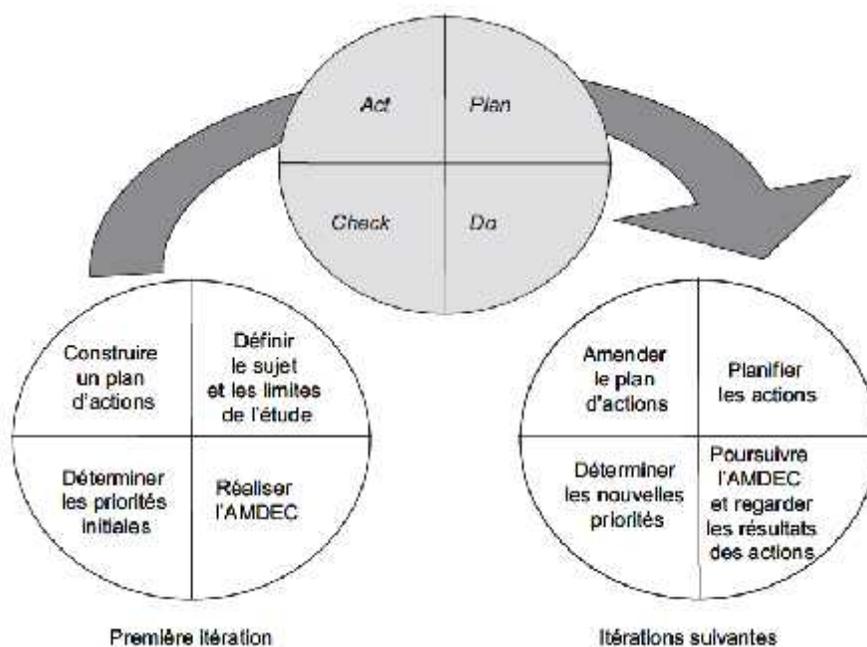


Figure 3-3 : Le « PDCA » appliqué à l'AMDEC

3.1.2.2 Principe

- La logique de l'AMDEC repose sur quatre questions de base :
- « Qu'est-ce qui pourrait aller mal ? » pour chercher les modes de défaillances potentielles.
- « Quels pourraient être les effets entraînés par ce mode de défaillance potentielle ? » pour chercher les effets possibles.

- « Quelles pourraient être les causes à l'origine de ce mode de défaillance potentielle ? » pour chercher les causes possibles.
- « Comment faire pour voir si cela se produit ? » pour chercher les moyens de détection.

L'AMDEC est une méthode inductive d'analyse qui permet de :

- Déterminer l'influence de chaque mode de défaillance des composants sur le fonctionnement normal du système.
- Hiérarchiser les modes de défaillances suivant la sévérité de leurs effets et la fréquence de leurs causes.
- Faciliter la mise en commun des informations entre les différents acteurs des organisations en vue de s'améliorer en matière de prévention.

3.1.2.3 Déroulement

Afin d'appliquer l'AMDEC correctement, il est recommandé de faire un analyse fonctionnelle des systèmes, c'est-à-dire un recensement des équipements qui constituent chaque système et de comprendre la fonction de chacun d'entre eux.

L'AMDEC se déroule comme suit :

1. Choisir un composant ou un équipement du système en précisant le sous-système auquel il appartient.

Les composants sélectionnés à partir de l'analyse fonctionnelle sont ceux à l'origine des évènements de criticité élevée, identifiés dans les tableaux de l'APR. En d'autres termes, l'analyse préliminaire des risques nous a aidés à limiter l'AMDEC aux seuls cas intéressants.

2. Retenir un état de fonctionnement (en arrêt, en marche, ouvert, fermé...)

Il est indispensable de considérer tous les états possibles au cours de l'exploitation, afin de mener l'analyse de la manière la plus complète possible.

3. Pour le composant et l'état retenus, choisir un premier mode de défaillance.

Défaillance, soit la cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une fonction requise.

Mode de défaillance, soit l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système.

L'identification des modes de défaillances peut être faite à partir du retour d'expérience et des tests. La liste des modes de défaillance généraux et génériques de la norme CEI 60812 :1985 « Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) » Peut faciliter l'identification des modes de défaillance pour tous les types d'équipements.

4. Identifier les causes de ce mode de défaillance ainsi que ses conséquences sur le système et le sous-système.
5. Identifier les moyens de détection mis en place.
6. Procéder à l'évaluation de la criticité de ce mode de défaillance à l'aide des grilles de cotation de la gravité, probabilité d'apparition et non-détection.
7. Recommander des actions correctives pour corriger les écarts.
8. Envisager un nouveau mode de défaillance et reprendre l'analyse au point 4.
9. Lorsque tous les modes de défaillances ont été examinés, envisager un nouvel état de fonctionnement et reprendre l'analyse au point 3.
10. Lorsque tous les états de fonctionnement ont été considérés, choisir un nouveau composant du système et reprendre l'analyse au point 2.
11. Hiérarchiser les modes de défaillances selon leurs criticités.

3.1.2.4 Détermination des priorités (C)

En plus des questions de base, il y a les questions de détermination de priorité qui aideront à trier les préoccupations et savoir par où commencer le travail. Pour le faire, il faut travailler sur trois critères :

- La cotation de la gravité des effets en fonction des conséquences imaginées pour chaque problème potentiel listé
- La cotation de la probabilité d'apparition pour estimer la fréquence de l'apparition du mode de défaillance potentielle.
- La cotation de non-détection qui permet de juger la capacité des moyens et actions de détection à détecter l'apparition des problèmes.

La multiplication de ces trois critères entre eux donne l'indice de priorité de risque (IPR) qui est aussi le « C » de la criticité du sigle AMDEC en français et qui aidera à classer les préoccupations.

$$C = \text{gravité} \hat{=} \text{probabilité d'apparition} \hat{=} \text{non-détection}$$

Les trois cotations : gravité, probabilité, non-détection sont attribuées à l'aide d'échelles adaptées en fonction de l'organisme dans lequel l'AMDEC se déroule.

Tableau 3-5 : Gravité

Cotation de gravité	Conséquences
1-2	Sans effet significatif
3-4	Blessures légères (ASA), dommages légers
5-6	Blessures graves, dommages matériels significatif, effets localisés sur l'environnement
7-8	Un à trois décès, dommages matériels importants, effets importants sur l'environnement
9-10	Plusieurs décès, dommages énormes sur l'installation, effets énormes sur l'environnement

Tableau 3-6 : Probabilité d'apparition

Cotation de probabilité	Signification	Fréquence d'apparition
1-2	Jamais apparu, ou très rarement	$\leq 10^{-9}/h$
3-4	Apparu rarement	$]10^{-9}, 10^{-7}]$
5-6	Pouvant apparaître, ou déjà apparu	$]10^{-7}, 10^{-5}]$
7-8	Apparition déjà constatée	$]10^{-5}, 10^{-3}]$
9-10	Probabilité quasi certaine d'apparition	$> 10^{-3}/h$

Tableau 3-7 : Non-détection

Cotation de non-détection	Non-détection
1-2	Détection certaine, réalisée en automatique
3-4	Détection moins fiable
5-6	Détection incertaine
7-8	Détection difficile
9-10	Paramètre non contrôlé ou non contrôlable, détection inefficace

Tableau 3-8 : Tableau type AMDEC

Système :											
Sous-système	Composant	Fonction État	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection de la défaillance	G	P	ND	C	Actions correctives

Les résultats de la méthode peuvent être consultés en annexe C

3.1.2.5 Limites de la méthode

L'AMDEC aide à poser les bonnes questions pour rechercher les problèmes potentiels. Néanmoins, ce n'est pas une méthode de résolution de problème et elle doit être utilisée avec des outils complémentaires, comme l'arbre de défaillance, afin d'identifier les causes possibles d'un problème de façon exhaustive. Ceci n'est pas possible avec l'AMDEC car cette méthode ne considère que les défaillances simples.

3.1.2.6 Interprétation des résultats

La détermination des priorités permet de sélectionner les composants ayant les modes de défaillance les plus critiques et par conséquent, proposer les actions et les procédures nécessaires pour y remédier.

Hiérarchisation des composants selon leurs criticités :

- Vannes des cowpers
- vanne de purge - Pot à poussière
- Rigole
- Poche tonneau
- Vanne de purge – Laveur
- Pompe hydraulique – CAV
- Brûleur pilote – Torchère
- Trou de coulée
- Conduite eau de refroidissement
- Pulvérisateur – Laveur
- Tuyère / Circulaire
- Vanne anti-pompage

- Serpentin – Boite de refroidissement
- Moto-pompe – 2^e Groupe

3.1.3 Nœud de papillon

La méthode du nœud papillon a pour principe de réunir un arbre de défaillances et un arbre des événements centré sur un même événement redouté appelé événement redouté central (ERC).

Le nœud papillon est réservé à l'analyse des accidents les plus critiques. Ces accidents sont ceux qui nécessitent de justifier de manière détaillée et argumentée d'un niveau élevé de maîtrise du risque. La figure 3-4 représente la forme générale d'un Nœud Papillon.

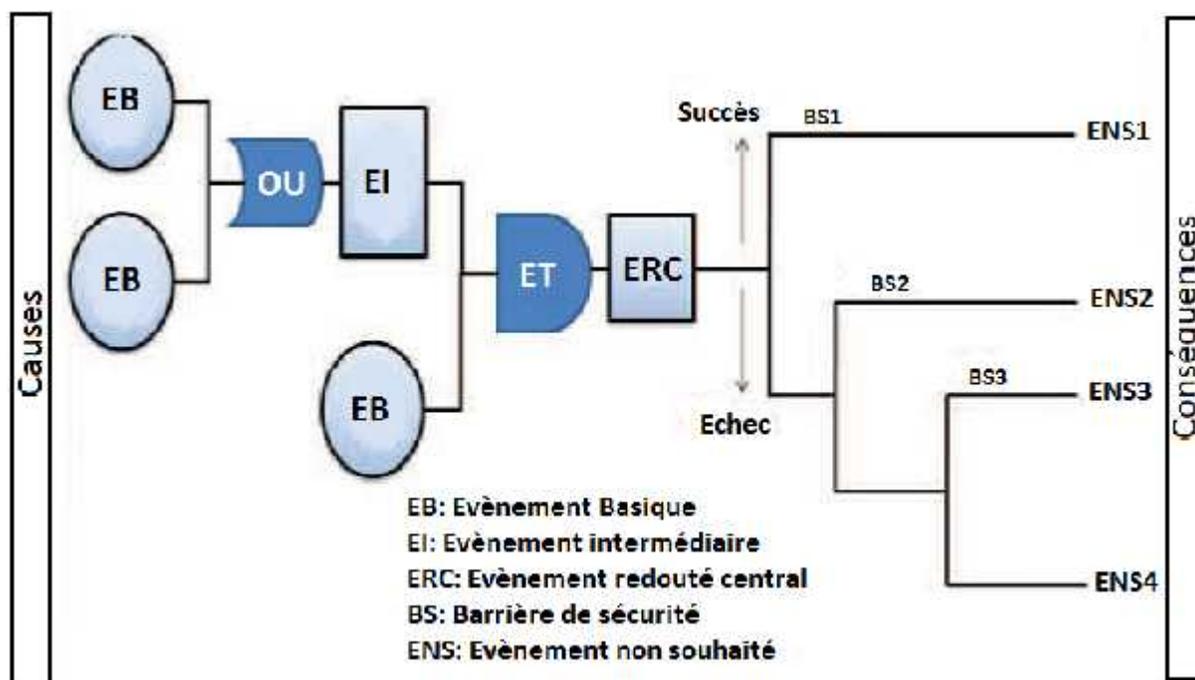


Figure 3-4 : Exemple d'un nœud papillon.

La partie en amont de l'événement redouté central est constituée par un arbre de défaillances qui permet d'analyser les combinaisons de causes et de mettre en évidence l'effet des barrières de prévention sur le déroulement des séquences accidentelles aboutissant à la réalisation de l'événement redouté central.

La partie en aval est quant à elle constituée par un arbre d'événements. Elle permet de déterminer la nature et l'ampleur des conséquences, en fonction que les barrières de mitigation remplissent ou non leur fonction de sécurité.

Pour mener à bien une analyse par nœud papillon, quatre étapes clés sont à mettre en œuvre :

- Définir l'événement redouté qui constitue le point central du nœud papillon.
- Construire l'arbre de défaillances afin de mettre en évidence l'ensemble des combinaisons de causes pouvant mener à l'événement redouté central.
- Construire l'arbre des événements afin de mettre en évidence l'ensemble des conséquences possibles en fonction que les barrières de mitigation remplissent ou non leurs fonctions de sécurité.
- Quantifier le nœud papillon, c'est-à-dire évaluer les fréquences d'occurrence des conséquences en sortie de l'arbre des événements.

L'évaluation des probabilités des phénomènes dangereux et des accidents majeurs est devenue une étape nécessaire des études de dangers. Des sources de données de formes différentes existent (formules issues de jugements d'experts, données génériques issues du retour d'expérience et de jugements d'experts, retour d'expérience de sites...). Ces données peuvent être employées selon les cas pour des démarches d'évaluation de type qualitative, quantitative ou semi-quantitative.[9]

Afin de pouvoir estimer les fréquences d'occurrence des conséquences, nous allons utiliser une échelle de probabilité pour les événements basiques de l'arbre de défaillances.[10]

Une explication qualitative de l'échelle quantitative :

- 10^{-5} : « événement possible mais non rencontré au niveau mondial » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.
- 10^{-4} : « événement très improbable » : c'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité de ce scénario.
- 10^{-3} : « événement improbable » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.
- 10^{-2} : « événement probable sur site » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.

Le Nœud Papillon est fait sur la base des résultats obtenus de l'analyse préliminaire des risques (APR) et l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité (AMDEC).

Nous avons choisi cinq évènements redoutés centraux :

- Rupture dans le bloc HF
- Poche tonneau sous pression
- Perte de confinement du gaz HF – Laveur
- Non-étanchéité des vannes des cowpers
- Perte de confinement de l'huile – CAV

Les nœuds papillons sont élaborés à l'aide d'un logiciel de Sûreté de Fonctionnement (SdF) GRIF-workshop de Total.

Les Nœuds Papillon élaborés peuvent être consultés en annexe D.

3.1.3.1 Résultats

3.1.3.1.1 Arbre des défaillances (AdD)

Les résultats des arbres de défaillances sont présentés dans le tableau 3-9

Tableau 3-9 : Fréquence d'occurrence de chaque ERC

ERC	Fréquence d'occurrence
Rupture dans le bloc HF	4.10^{-3}
Poche tonneau sous pression	$1,2.10^{-7}$
Perte de confinement du gaz HF – Laveur	$3,4.10^{-8}$
Non-étanchéité des vannes des cowpers	10^{-5}
Perte de confinement de l'huile – CAV	$1,2.10^{-2}$

3.1.3.1.2 Arbre des évènements

Les fréquences d'occurrence des conséquences sont calculées et résumées dans le tableau 3-10

Tableau 3-10 : Fréquences d'occurrence des conséquences

ERC	Conséquences	Fréquence d'occurrence
Rupture dans le bloc HF	Explosion	$7,3.10^{-4}$
	Pollution de l'air	$1,4.10^{-3}$
	Situation maîtrisée	$1,8.10^{-3}$
Poche tonneau sous pression	Explosion	$2,4.10^{-8}$
	Situation maitrisée	$9,6.10^{-8}$
Perte de confinement du gaz HF – Laveur	Explosion	$6,7.10^{-9}$
	Asphyxie	$6,4.10^{-9}$
	Pollution atmosphérique	$1,7.10^{-9}$
	Situation maitrisée	$3,8.10^{-9}$
Non-étanchéité des vannes des cowpers	Explosion	$4,2.10^{-6}$
	Asphyxie	$9,6.10^{-7}$
	Pollution de l'air	$2,8.10^{-6}$
	Perte matérielle	$3,9.10^{-7}$
	Perte de production	$1,6.10^{-6}$
Perte de confinement de l'huile – CAV	Incendie	$1,2.10^{-9}$
	Pollution du sol	$9,5.10^{-9}$
	Situation Maitrisée	$2,3.10^{-8}$

La quantification des Nœuds Papillon permet de hiérarchiser les conséquences suivant leurs fréquences d'occurrence afin de déterminer les priorités dans le plan d'action. Les conséquences jugées majeures de l'unité HF sont alors hiérarchisées ainsi :

- Explosion du bloc HF ($7,3.10^{-4}$)
- Explosion des cowpers ($4,2.10^{-6}$)
- Emanation gaz de combustion ($9,6.10^{-7}$)
- Explosion de la poche tonneau ($2,4.10^{-8}$)
- Explosion du laveur ($6,7.10^{-9}$)
- Emanation de gaz HF du circuit épuration de gaz ($6,4.10^{-9}$)
- Incendie à la centrale à vent ($1,2.10^{-9}$)

3.2. DEMARCHE 2 : MADS-MOSAR

L'analyse des risques d'une installation industrielle est une démarche complexe car cette dernière est elle-même une structure complexe constituée de machines, de stockages, en interaction entre eux, avec les opérateurs ainsi qu'avec l'environnement. Pour se donner le maximum de chances

de mettre en évidence la majorité des risques d'une installation, une méthode logique est proposée : la Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques ou MOSAR.

Elle fait appel à la modélisation systémique car après avoir décomposé l'installation en sous-systèmes et recherché systématiquement les dangers présentés par chacun d'entre eux, ces sous-systèmes sont remis en relation pour faire apparaître des scénarios de risques majeurs. Cette partie de l'analyse est une APR (Analyse préliminaire des risques) évoluée car elle ne se contente pas de passer l'installation au crible de grilles préétablies issues du retour d'expérience. Elle construit, à partir d'une modélisation des différents types de dangers par le modèle MADS (Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes), les scénarios possibles. La négociation d'objectifs permet de hiérarchiser ces scénarios.

La recherche systématique de barrières permet de neutraliser ces scénarios et leur qualification dans le temps en assure la pérennité. La démarche peut se poursuivre par une analyse détaillée de type Sûreté de Fonctionnement avec mise en œuvre d'autres outils comme sa constitution modulaire permet une grande souplesse d'utilisation.

3.2.1 MADS

Le modèle MADS (Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes), appelé aussi Univers de danger est un outil initialement à vocation pédagogique qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Jean-Louis Le Moigne dans « La théorie du système générale »[11]

L'univers du dangers est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement dit actif.

Les interactions entre ces deux systèmes se font sous forme de processus c'est-à-dire d'échange de flux de matière, énergie, information entre les deux systèmes, dans le temps, l'espace et la forme.

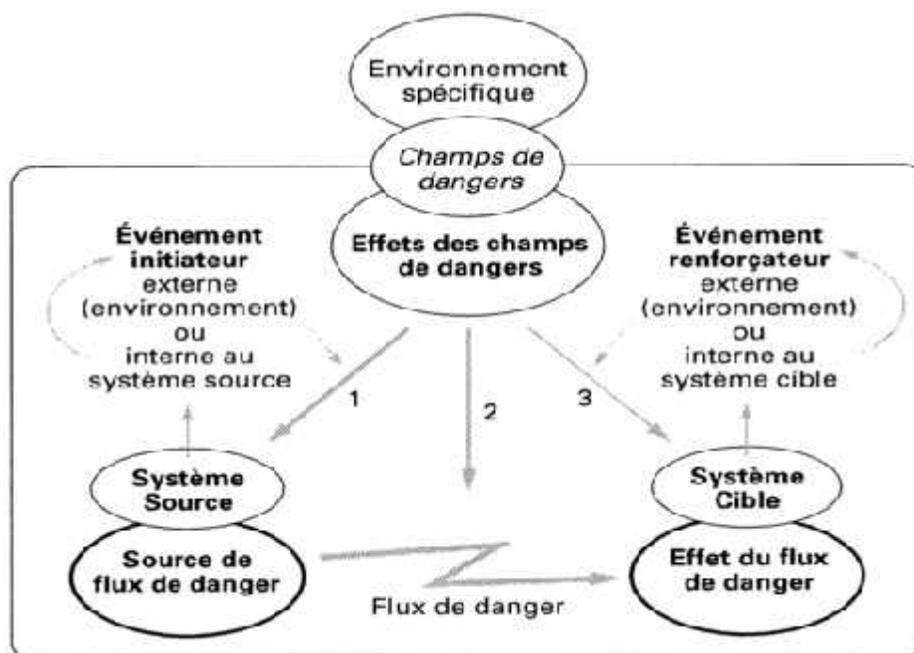


Figure 3-5 : Modèle MADS ou l'univers du danger

Nous faisons donc apparaître :

- le **flux de danger** que nous appelons aussi l'Événement Non Souhaité (ENS) ou aussi parfois l'Événement Redouté ;
- le **système cible** sur lequel agit le flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et est appelée effet du danger ;
- le **système source de danger** émetteur du flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et/ou son interaction avec l'environnement et est appelée source de flux de danger ;
- le **processus de danger** est réversible c'est-à-dire qu'un système source peut devenir système cible et vice-versa. Les systèmes sources et les systèmes cibles pris en compte sont : un ou des individus, une ou des populations, un ou des écosystèmes, un ou des systèmes matériels ou symboliques (savoirs, savoir-faire, données...) ;
- les « **éléments orientés** » source-flux-cible sont « immergés » dans un environnement actif appelé **champ de danger** ;
- le champ de danger est « tapissé » de processus qui peuvent agir sur le système source par des **événements initiateurs** (notés 1 sur la figure 3-5), ainsi que sur le système cible et le flux de danger par des **événements amplificateurs** (notés 2 sur la figure 3-5). Un tel événement est

dit **renforceur**, ou aussi **amplificateur positif**, s'il renforce l'effet du flux de danger sur la cible. Il est dit **atténuateur**, ou **amplificateur négatif**, s'il diminue l'effet du flux de danger sur la cible.

L'évaluation du risque correspond à la description d'une ou plusieurs séquences de danger : « Une analyse de risques consiste à étudier le processus de danger, c'est-à-dire la mise en relation d'un système source avec un système cible au moyen de phénomènes appelés flux de dangers dans un environnement actif champs de danger »[12]

L'une des principales critiques faites aux différentes méthodes d'analyse de risques est la non-exhaustivité de leurs analyses. Il est donc nécessaire de définir le type et le nombre minimum de relations source/cible à analyser. C'est ainsi que le modèle MADS détermine quatre relations de référence qui sont présentées dans la figure 3-5.

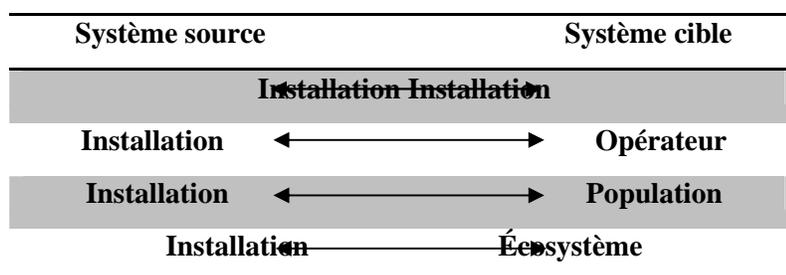


Figure 3-6 : Relations de référence utilisées pour l'analyse des risques

En considérant tour à tour chaque système identifié -l'individu, la population, l'écosystème, l'installation- comme un système source et/ou comme un système cible nous pouvons définir sept points de vues fondamentaux. (Tableau 3-11)

Tableau 3-11 : Points de vue et les techniques d'étude

Système source	Système cible	Points de vue
Installation	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Sûreté de fonctionnement • Sécurité des biens
Installation	Opérateur	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomie • Sécurité des installations
Opérateur	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilité humaine • Malveillance interne
Installation	Population	<ul style="list-style-type: none"> • Hygiène et santé publique • Épidémiologie • Sécurité industrielle • Génie sanitaire
Population	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Malveillance externe • Sécurité
Installation	Écosystème	<ul style="list-style-type: none"> • Hygiène et sécurité de l'environnement • Écologie appliquée • Génie sanitaire
Écosystème	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Risques naturels

Pour résumer, en se basant sur les éléments mentionnés ci-dessus, nous pouvons modéliser les mécanismes de danger entre sources et cibles faisant partie d'un système étudié. Ces mécanismes sont définis par un observateur en utilisant un ou plusieurs points de vue pour identifier les évènements non souhaités et évaluer les risques que ceux-ci représentent. Le cadre systématique permettant de réaliser ce travail est la méthodologie MOSAR.

3.2.2 MOSAR

La méthode MOSAR, Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques, développée au CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), est une méthode intégrée qui permet d'analyser les risques sur un site de manière progressive. Cette méthode repose sur le modèle MADS (Méthodologie d'Analyse du Dysfonctionnement des Systèmes).

La méthode MOSAR fait appel à des outils d'analyse des risques internationalement reconnus. L'originalité de la méthode est d'en organiser l'utilisation et de proposer des grilles et des listes guides dans un souci d'exhaustivité.

MOSAR est constituée de deux modules qui peuvent être utilisés de façon plus ou moins indépendante. Le module A correspond à une analyse macroscopique des risques sur un site

industriel et s'apparente à une analyse préliminaire des risques. Le module B correspond à une analyse plus détaillée des scénarios identifiés dans le cadre du module A à l'aide des outils de la Sûreté de Fonctionnement (analyse microscopique).

3.2.2.1 Module A

3.2.2.1.1 Description du système et décomposition en sous-systèmes

Une installation industrielle peut être modélisée comme un système ouvert sur son environnement, et composé essentiellement de matériels (M1, M2, M3 ...) et d'opérateurs (O1, O2, O3 ...), en interaction entre eux et avec l'environnement (Figure 3-7)

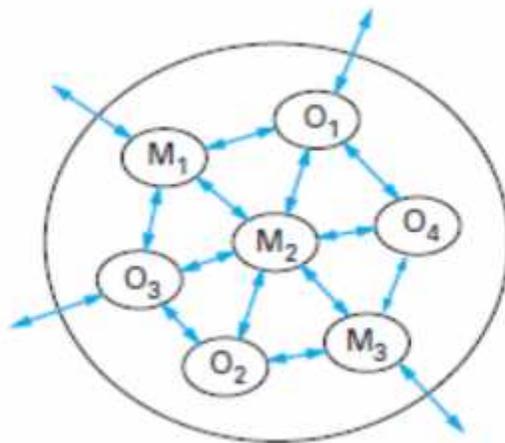


Figure 3-7 : Modélisation d'une installation industrielle

L'unité Haut Fourneau n°2 peut être décomposée en quatre systèmes principaux. Chaque système va être décomposé en sous-systèmes :

S1 : Bloc HF

S2 : Système vent chaud

S3 : Système épuration des gaz HF

S4 : Système eau de refroidissement

Les systèmes industriels sont des interférences relationnelles entre des systèmes techniques compliqués et des systèmes humains complexes. Pour pouvoir analyser les risques, nous

décomposons les systèmes et sous-systèmes. La condition la plus importante à respecter est de retrouver l'intégralité de l'installation étudiée dans la somme des sous-systèmes.

Après avoir choisi le système à étudier, nous le décomposons en sous-systèmes de manière fonctionnelle, sans oublier les deux sous-systèmes : environnement actif et opérateurs. La décomposition de l'unité HF n°2 se fait de la manière suivante :

- **SS1** : Gueulard
- **SS2** : Refroidissement HF
- **SS3** : Creuset
- **SS4** : Evacuation/transport de la fonte
- **SS5** : Partie électrique CAV
- **SS6** : Partie mécanique + hydraulique
- **SS7** : Partie compresseur
- **SS8** : Cowpers
- **SS9** : Injection vent chaud
- **SS10** : Pot à poussière
- **SS11** : Laveur
- **SS12** : Tube venturi + septum valve
- **SS13** : Electro-filtres
- **SS14** : Torchère
- **SS15** : Traitement des boues
- **SS16** : Aéroréfrigérants
- **SS17** : Traitement des eaux
- **SS18** : Salles des pompes
- **SS19** : Environnement actif
- **SS20** : Opérateurs

3.2.2.1.2 Identification des sources de danger

En partant des sous-systèmes obtenus de la décomposition et l'environnement où ils se trouvent, il est possible d'identifier de manière systématique les sous-systèmes de l'installation qui peuvent devenir des systèmes sources de danger. MOSAR propose la grille 1 comme liste exhaustive de dangers (Tableau 3-12).

Tableau 3-12 : Systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information (classification également appelée grille 1)

A	Systèmes sources de dangers d'origine mécanique	A7	Systèmes sources de chute de plain-pied
A1	Systèmes sous pression <ul style="list-style-type: none"> - Gaz - Vapeur mixte - Hydraulique 	A8	Autres systèmes sources de blessures
A2	Systèmes sous contraintes mécaniques	A9	Systèmes sources de bruit et de vibrations
A3	Systèmes en mouvement <ul style="list-style-type: none"> - Solides - Liquides - Gaz 	B	Systèmes sources de danger d'origine chimique
A4	Systèmes nécessitant une manutention <ul style="list-style-type: none"> - Manuelle - Mécanique 	B1	Systèmes sources de réactions chimiques
A5	Systèmes sources d'explosions d'origine physique autres que A1	B2	Systèmes sources d'explosions <ul style="list-style-type: none"> - En milieu condensé - En phase gazeuse
A6	Systèmes sources de chute de hauteur	B3	Systèmes sources de toxicité et d'agressivité
		B4	Systèmes sources de pollution et d'odeurs
		B5	Systèmes sources de manque

	d'oxygène
C	Systèmes sources de danger d'origine électrique
C1	Electricité à courant continu ou alternatif
C2	Electricité statique
C3	Condenseurs de puissance
C4	Hautes fréquences
D	Systèmes sources de dangers d'incendie
E	Systèmes sources de dangers thermiques et de rayonnement
E1	Ionisants <ul style="list-style-type: none"> - E1.1 : Alpha, Béta, Gamma X - E1.2 : Neutrons - E1.3 : Contamination - E1.4 : Criticité (domaine nucléaire)
E2	Sources thermiques
	E2.1 : Conduction thermique E2.2 : Rayonnement UV – IR – visible
E3	Lasers
E4	Micro-ondes
E5	Champs magnétiques

F	Systèmes sources de dangers biologiques
F1	Virus – bactérie
F2	Toxines
G	L'homme source de dangers
G1	Situation normale
G2	Malveillance
H	Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif
H1	Inondations
H2	Foudre
H3	Circulation aérienne
H4	Autres industries environnantes
H5	Séismes
H6	Autres sources de dangers naturels : gel, glissement de terrain, chutes diverses
I	Systèmes sources de dangers d'origine économique et sociale
	<ul style="list-style-type: none"> - Finances - Migration - Conflits - Criminalité – violence - Grands rassemblements

La grille 1 n'est qu'une typologie de dangers où nous trouvons les dangers d'origine mécanique, chimique, électrique, incendie, radiation, biologique, humains liés à l'environnement actif et socio-économique. Les systèmes sources de dangers de chaque sous-système sont identifiés dans le tableau 3-13.

Tableau 3-13 : Sources de danger par sous-système

Grille des sources de danger de SS1 : Gueulard	
A1	Conduites, sas, lignes d'équilibrage
A3	Petite cloche, grande cloche, distributeur rotatif
A6	Système source de chute de hauteur
B2	Système source d'explosion en phase gazeuse
B3	Bleeders, sas
B4	Bleeders
B5	Système source de manque d'oxygène
C1	Câbles électriques
Grille des sources de danger de SS2 : Refroidissement HF	
A1	Boîtes sous pression hydraulique (eau)
A5	Systèmes sources d'explosion d'origine physique (eau)

Grille des sources de danger de SS3 : Creuset	
A1	Circulaire, coudes, tynes, tuyères
A3	Masse à boucher, boucheuse, perforatrice, CH ₄ , O ₂ , fonte
A5	Systèmes source d'explosion d'origine physique (fonte)
A8	Projection de la fonte lors de la sortie du trou de coulée
B2	CH ₄ , O ₂
C1	Câbles électriques
Grille des sources de danger de SS4 : Evacuation / Transport de la fonte	
A4	Séparation du laitier de la fonte
A5	Fonte en fusion
Grille des sources de danger de SS5 : Partie électrique CAV	
A1	Paliers du rotor
A3	Rotor 1, huile de lubrification
C1	Electricité a courant alternatif
Grille des sources de danger de SS6 : Partie mécanique + hydraulique	
A1	Centrale hydraulique
A3	Rotor 2, ailettes, huile
A9	Ailettes
Grille des sources de danger de SS7 : Partie compresseur	
A1	Conduites d'aspiration et de refoulement
A3	Air comprimé, ailettes
Grille des sources de danger de SS8 : Cowpers	
A1	Cowpers sous pression de l'air
A3	Air comprimé
B2	Vannes de l'air de combustion
Grille des sources de danger de SS9 : Injection vent chaud	
A1	Rectiligne sous pression de l'air
A3	Air comprimé + oxygène + gaz naturel
Grille des sources de danger de SS10 : Pot à poussière	
A1	Cyclone sous pression du gaz HF non épuré
A3	Poussière, gaz
B2	Gaz HF explosif
B3	Toxicité du gaz HF
B4	Système source de pollution de l'atmosphère
Grille des sources de danger de SS11 : Laveur	
A1	Appareil sous pression du gaz HF
A3	Eau, poussière, gaz
B2	Gaz HF explosif
B3	Toxicité du gaz HF
B4	Système source de pollution de l'atmosphère
Grille des sources de danger de SS12 : Tube venturi + Septum valve	
A1	Conduite sous pression du gaz HF
A3	Gaz HF régulant la contre pression, opercules des vannes
B2	Gaz HF explosif
B3	Toxicité du gaz HF

B4	Système source de pollution de l'atmosphère
C1	Alimentation des cerveau moteurs des septum-valve
Grille des sources de danger de SS13 : Electro-filtres	
A1	Appareil sous pression du gaz HF
A3	Poussière, gaz
B2	Gaz HF explosif
B3	Toxicité du gaz HF
B4	Système source de pollution de l'atmosphère
E6	Champs électriques
Grille des sources de danger de SS14 : Torchère	
A1	Torchère sous pression du gaz HF
A3	Gaz HF, clapets des vannes
B2	Gaz HF explosif
B3	Toxicité du gaz HF
B4	Système source de pollution de l'atmosphère
C1	Alimentation des cerveau moteurs des clapets
Grille des sources de danger de SS15 : Traitement des boues	
A3	Poussière, eau, racleur, pompes
C1	Alimentation des moto-pompes
Grille des sources de danger de SS16 : Aéroréfrigérants	
A3	Ventilateurs, eau, pompes
C1	Alimentation des moto-pompes
Grille des sources de danger de SS17 : Traitement des eaux	
A1	Ballon séparateur
A3	Eau
B1	Adoucisseurs
Grille des sources de danger de SS18 : Salle des pompes	
A3	Eau, pompes
A9	Pompes
C1	Alimentation des moto-pompes
Grille des sources de danger de SS19 : Environnement actif	
G2	Visiteurs, sous-traitants
H1	Inondations
H5	Séismes

3.2.2.1.3 Identification des évènements non souhaités

L'identification des évènements non souhaités se fait grâce au Tableau A (tableau 3-14) qui est un outil proposé par MOSAR. Cette identification doit être réalisée sans prise en compte des éventuelles barrières existantes.

Tableau 3-14 : Canevas du Tableau A reprenant le processus de danger MADS.

Processus de danger pour SS1							
Type de système source de danger		Phase de vie*	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	

*Phases de vie : CO (conception), MO (montage), SE (essai), EX (exploitation), FN (fonctionnement normal), M (maintenance), DEP (dépannage), EN (entretien), FD (fonctionnement dégradé), IN (incident), AR (arrêt), TR (transformation), DEM (démantèlement)

L'application du tableau A est présenté dans le tableau 3-15

Tableau 3-15 : Processus de danger par sous-système

Processus de danger pour SS1 : Gueulard							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Distributeur rotatif	EX		Distribution asymétrique de la charge	Choc thermique	Défaillance du distributeur rotatif	Formation de garni
A1	Conduites	EX	Rupture	Fuite de gaz	Corrosion	Surpression	Explosion
B4	Bleeders	EX	Coincement	Fuite	Surpression dans le bloc HF	Colmatage	Pollution atmosphérique

Processus de danger pour SS2 : Refroidissement HF							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	Boite de refroidissement	EX	Fissure		Vieillessement Effondrement des briques réfractaires		Pénétration de l'eau à l'intérieur du bloc HF
			Bouchage du serpent		Mauvaise qualité de l'eau de refroidissement		Brûlure de la boite

Processus de danger pour SS3 : Creuset							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Masse à boucher	EX	Trou de coulée mal fermé			Mauvaise qualité de la masse à boucher	Fuite de gaz HF
A3	CH ₄	EX	Usure des tympes	Fuite	Effondrement des briques réfractaires		Explosion

Processus de danger pour SS4 : Evacuation/transport de la fonte							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A5	Fonte en fusion	EX	Rigole humide		Fuite de l'eau		Projection Explosion

Processus de danger pour SS5 : Partie électrique CAV							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Huile	EX		Fuite de l'huile	Fissure du palier		Incendie
A3	Rotor1	Ex		Vitesse de rotation inférieure à 1500 t/min		Mauvais alignement de l'accouplement	Pas de démarrage de la soufflante
A3	Rotor1	AR		Déformation du rotor	Fuite de l'huile de soulèvement		Arrêt de la soufflante

Processus de danger pour SS6 : Partie mécanique + hydraulique							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	Centrale hydraulique	EX		Mauvaise filtration des huiles	Filtre encrassé		Mauvaise régulation du débit de vent
A3	Huile	EX		Fuite de l'huile	Fissure du palier		Incendie
A3	Rotor2	EX	Augmentation des vibrations		Usure de la roue dentée		Arrêt de la soufflante
A3	Ailette		Introduction du corps à l'intérieur du compresseur		Déchirure des filtres		Rupture en cascade des ailettes

Processus de danger pour SS7 : Partie compresseur							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Air comprimé	EX		Retour de l'air comprimé	Non ouverture de la vanne anti-pompage		Destruction des ailettes
A3	Ailettes	EX	Projection des éclats métalliques			Rupture des ailettes	Destruction de la soufflante

Processus de danger pour SS8 : Cowpers							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	Cowper sous pression de l'air	EX	Rougissemment de blindage			Effondrement des briques réfractaires	Arrêt du cowper
B2	Vanne de l'air de combustion	EX		Non-étanchéité de la vanne	Gaz HF non-épuré		Fuite de gaz HF

Processus de danger pour SS9 : Injection vent chaud							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	Rectiligne sous pression de l'air	EX	Rupture de la conduite		Corrosion, vieillissement		Arrêt HF

Processus de danger pour SS10 : Pot à poussière							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Poussière	EX	Refus d'ouverture de la vanne de purge			Colmatage de la poussière	Surpression dans le pot à poussière
A3	Gaz HF	EX	Rupture du cyclone			Augmentation de la pression du gaz	Explosion

Processus de danger pour SS11 : Laveur							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A1	Laveur sous pression du gaz HF	EX		Augmentation du niveau de l'eau		Endommagement du détecteur du niveau	Libération du gaz HF dans l'atmosphère
A3	Gaz HF	EX	Rupture		Corrosion		Explosion

Processus de danger pour SS12 : Tube venturi + septum valve							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Opercules des vanne	EX		Pas de passage du gaz HF		Coincement	Mauvais fonctionnement du bloc HF

Processus de danger pour SS13 : Electro-filtres							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Gaz HF	EX	Rupture		Corrosion		Explosion

Processus de danger pour SS14 : Torchère							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Gaz HF	EX		Emission du gaz	Défaillance du brûleur		Asphyxie
A3	Clapet vanne papillon	EX		Pas de passage du gaz	Défaillance du cerveau moteur		Surpression dans le circuit épuration de gaz

Processus de danger pour SS15 : Traitement des boues							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Racleur			Accumulation de la poussière	Arrêt des pompes		Pas de traitement des boues

Processus de danger pour SS16 : Aéroréfrigérants							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Ventilateurs			Perturbation de la rotation des ventilateurs	Défaillance des moteurs		Mauvais refroidissement du bloc HF

Processus de danger pour SS17 : Traitement des eaux							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Eau	EX		Adoucissement excessif de l'eau	Utilisation inadéquate des adoucisseurs		Corrosion des boîtes de refroidissement et des conduites

Processus de danger pour SS18 : Salles des pompes							
Type de système source de danger		Phase de vie	Evènement initial		Evènement initiateur		Evènement principal (ENS)
			Lié au contenant	Lié au contenu	Externe	Interne	
A3	Pompes	EX		Défaillance des pompes	Manque de préventif	Panne mécanique/ électrique	Pas de refroidissement du bloc HF

3.2.2.1.4 Représentation sous forme de boîtes noires

A partir du tableau A, nous pouvons présenter chaque sous-système sous forme de boîte noire. Les entrées sont les évènements initiateurs et les sorties les évènements principaux (ou ENS) générés par le sous-système. (Voir Figure 3-8)

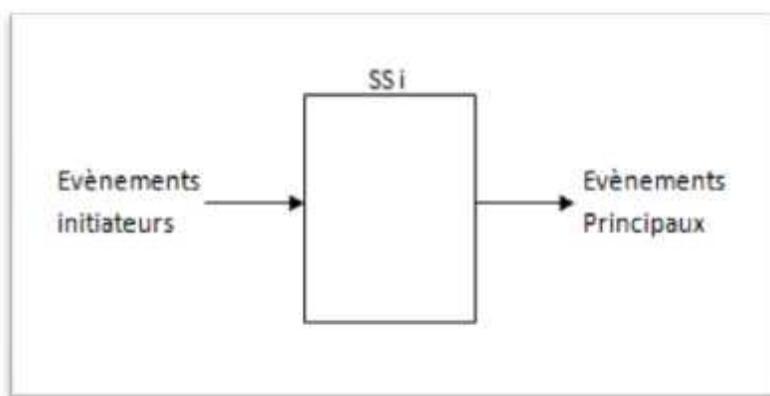


Figure 3-8 : Génération de scénarios courts par le schéma des boîtes noires

Ce travail est une compilation du tableau A. Les différentes boîtes noires de chaque sous-système sont présentées dans les figures de 3-9 à 3-26

Cette liste de scénarios n'est pas exhaustive, mais la plus probable selon le retour d'expérience.

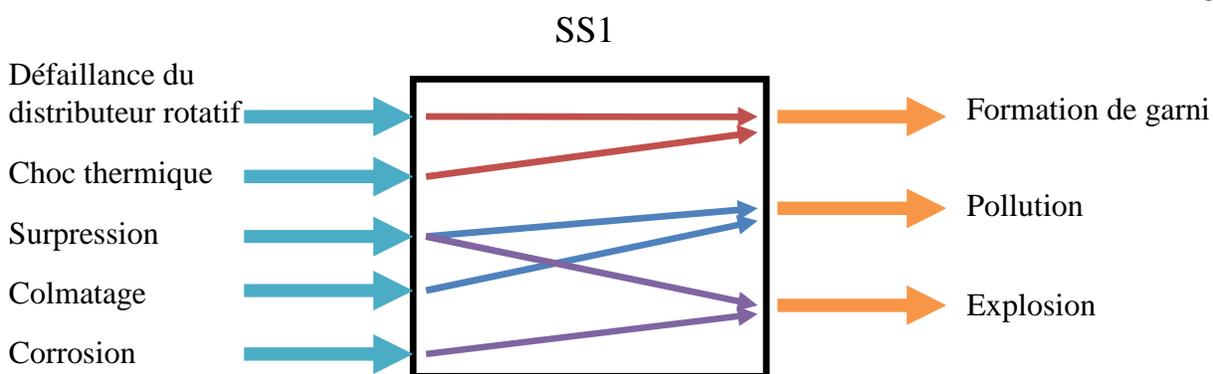


Figure 3-9 : Scénario court du SS1

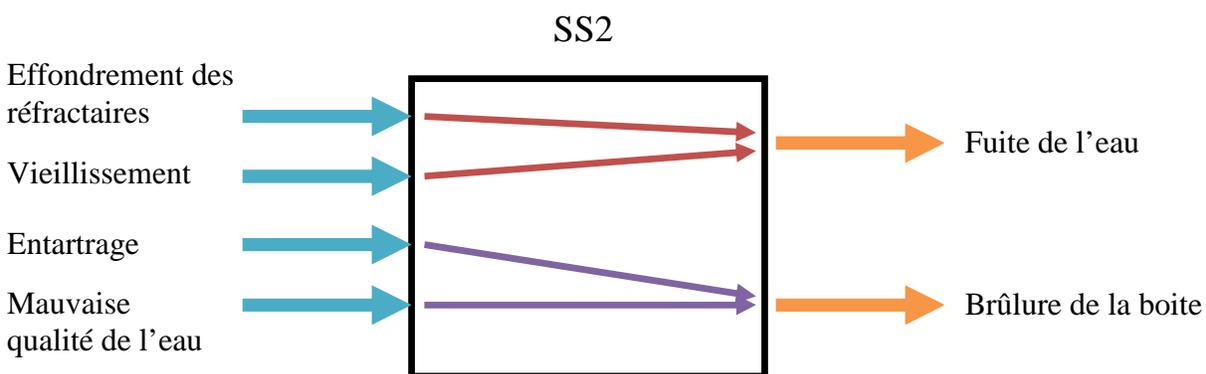


Figure 3-10 : Scénario court du SS2

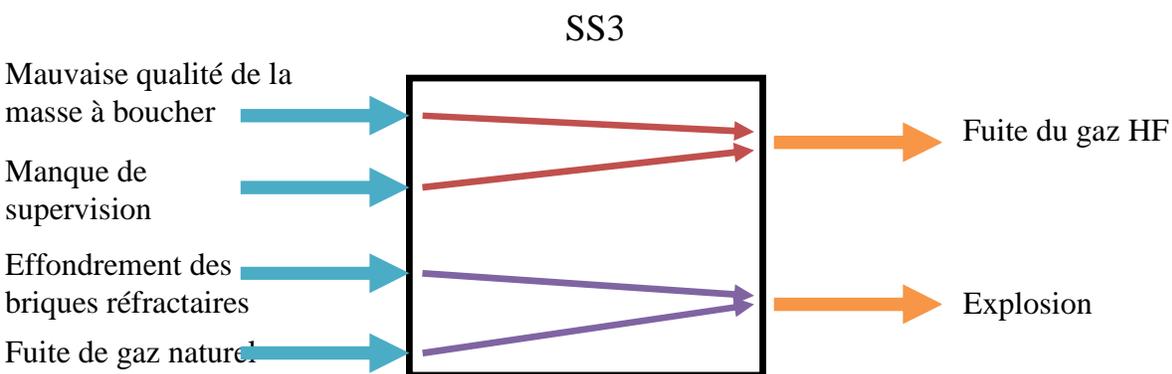


Figure 3-11 : Scénario court du SS3

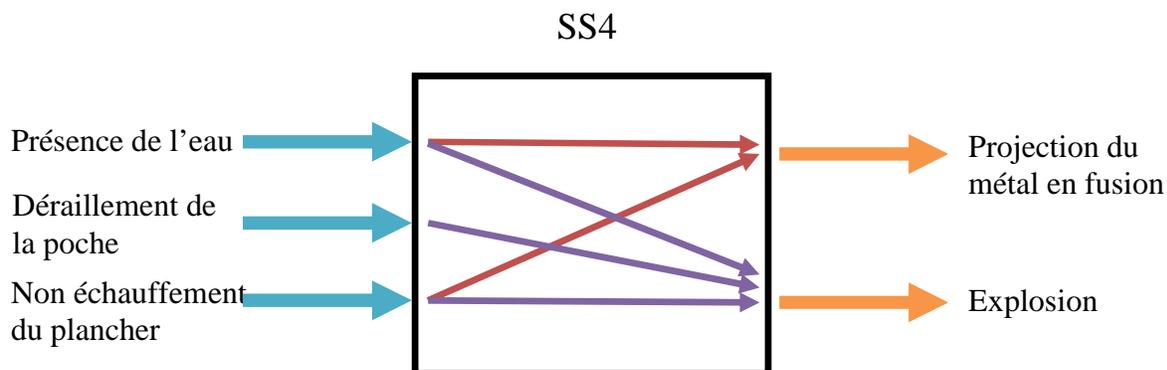


Figure 3-12 : Scénario court du SS4

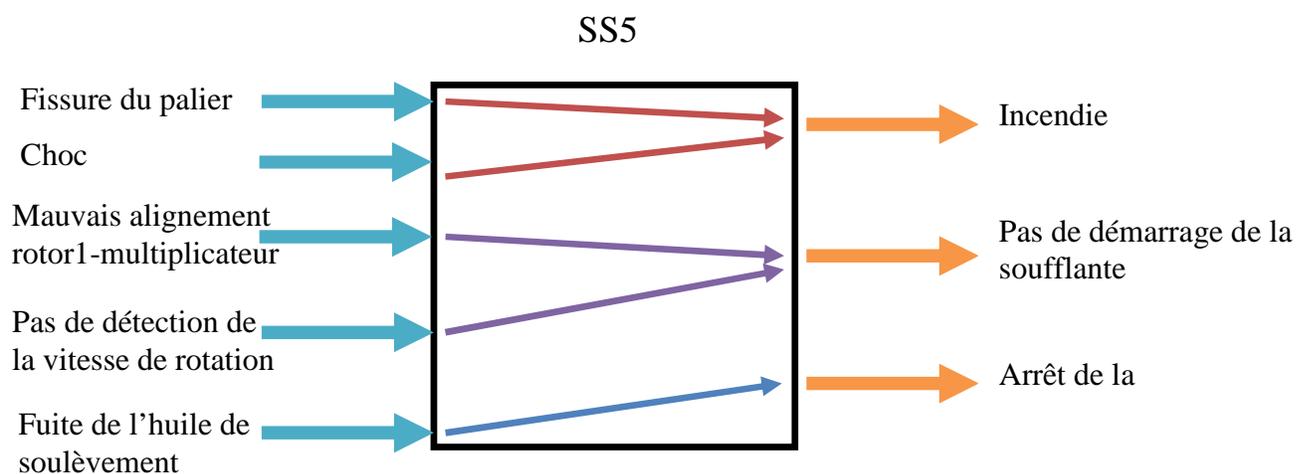


Figure 3-13 : Scénario court du SS5

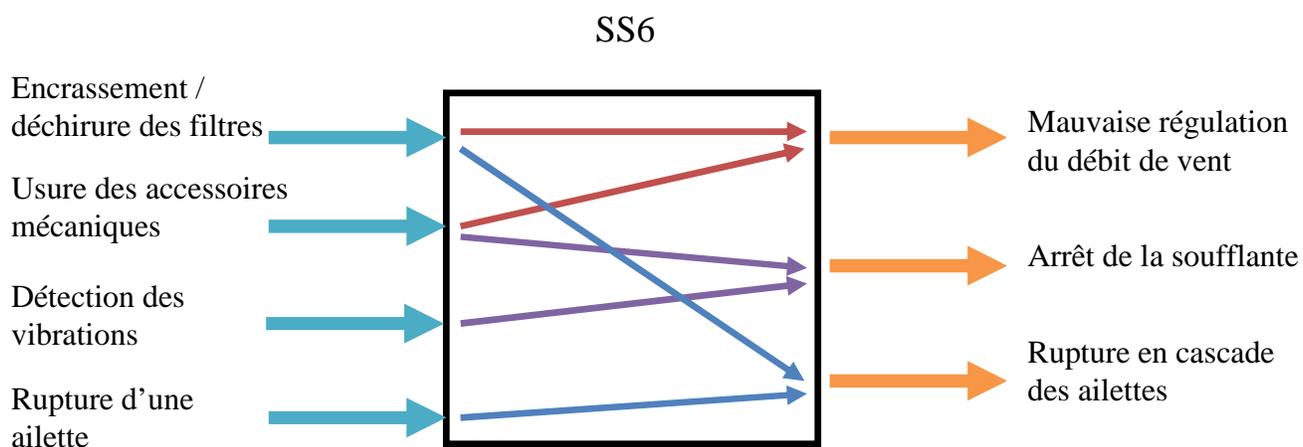


Figure 3-14 : Scénario court du SS6

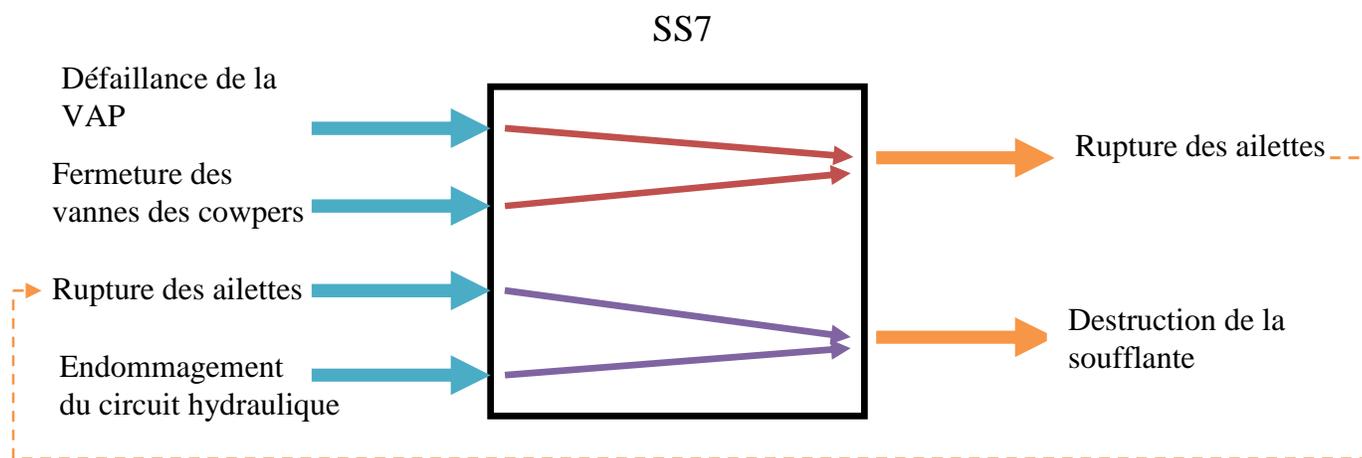


Figure 3-15 : Scénario court du SS7

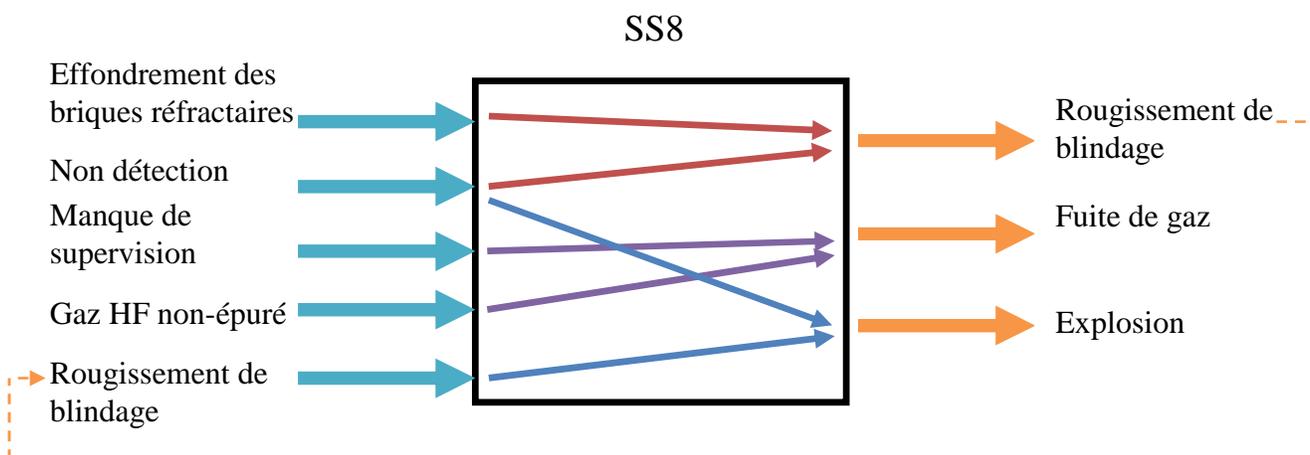


Figure 3-16 : Scénario court du SS8

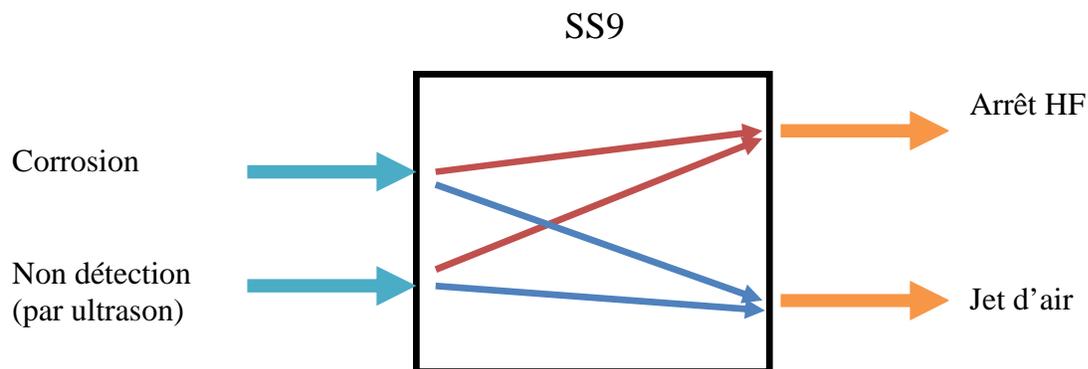


Figure 3-17 : Scénario court du SS9

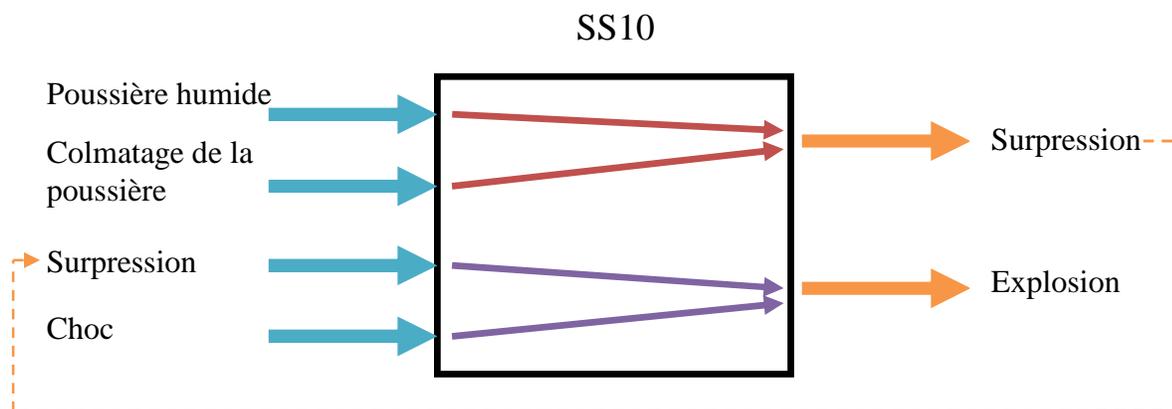


Figure 3-18 : Scénario court du SS10

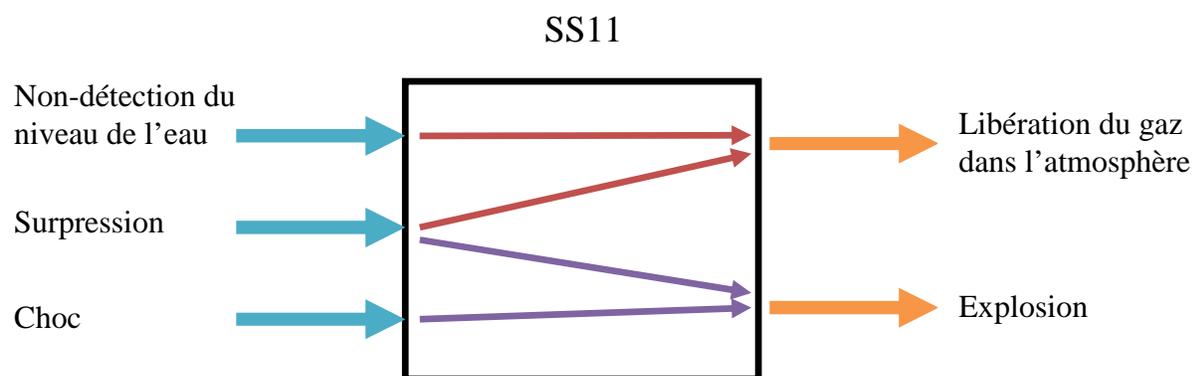


Figure 3-19 : Scénario court du SS11

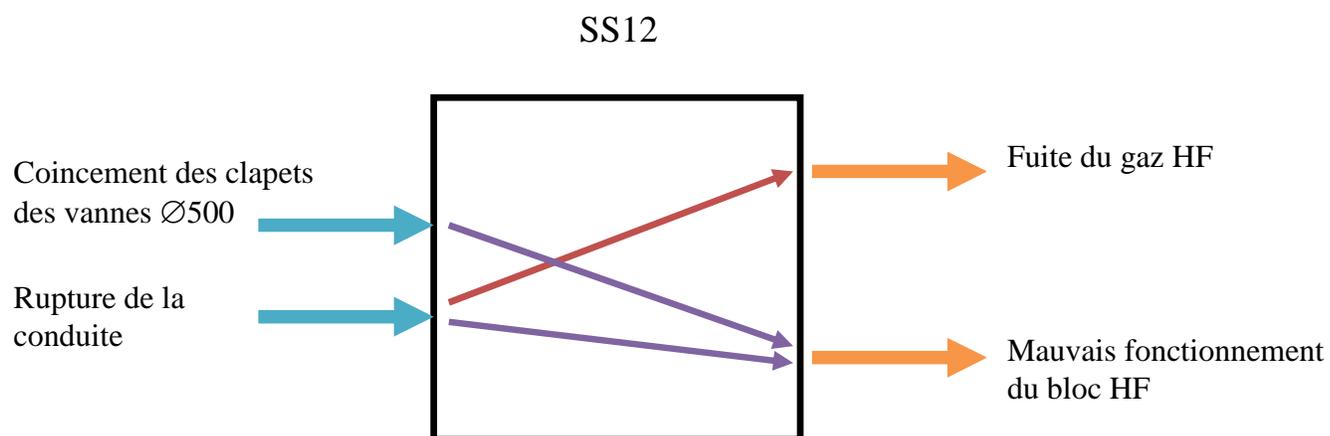


Figure 3-20 : Scénario court du SS12

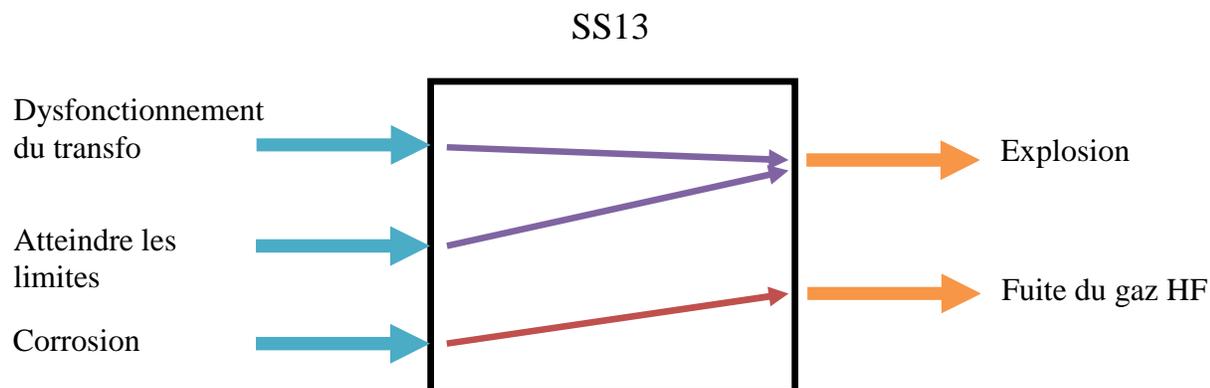


Figure 3-21 : Scénario court du SS13

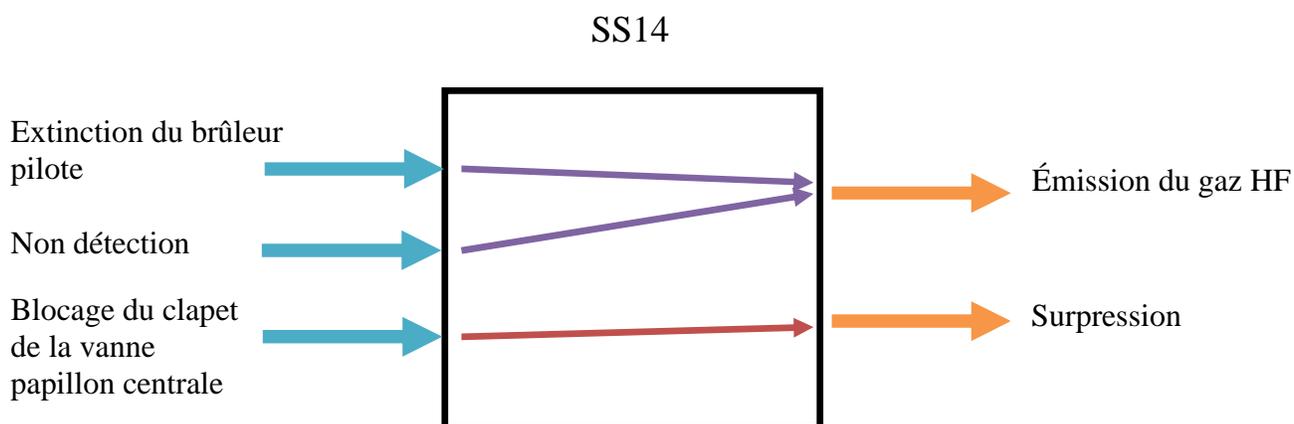


Figure 3-22 : Scénario court du SS14

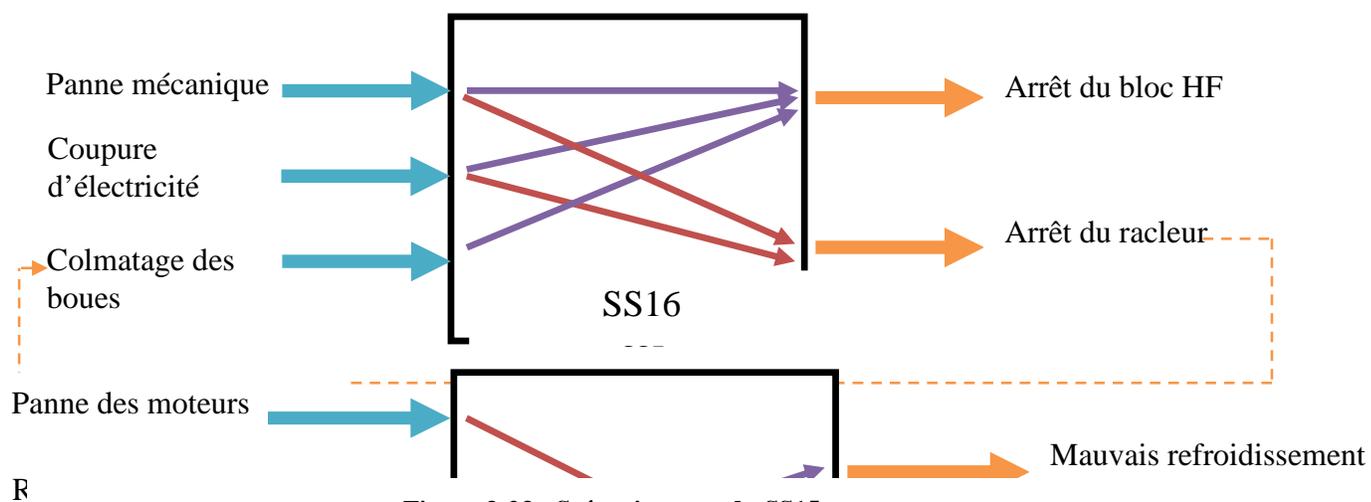


Figure 3-23 : Scénario court du SS15

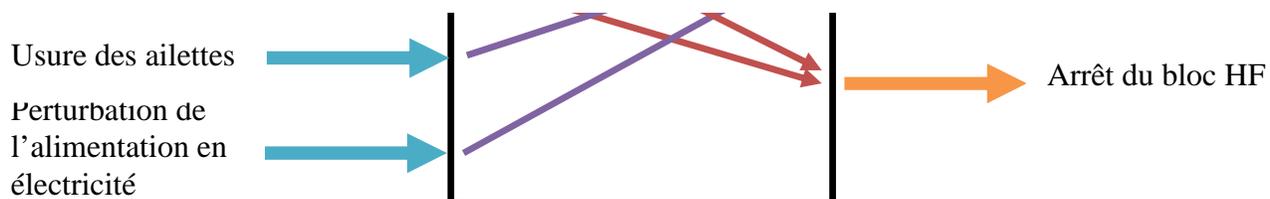


Figure 3-24 : Scénario court du SS16

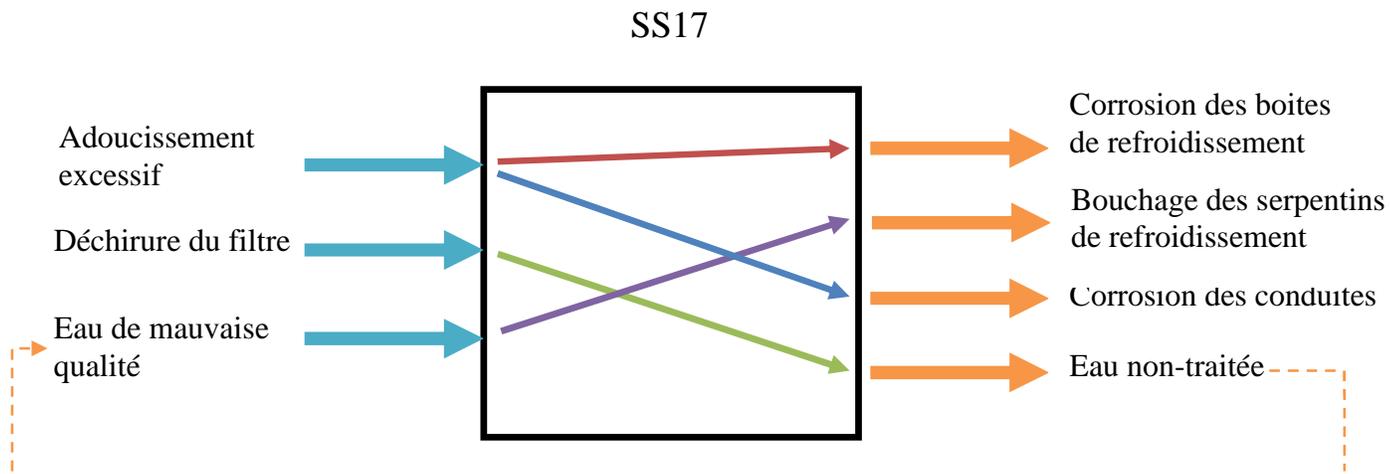


Figure 3-25 : Scénario court du SS17

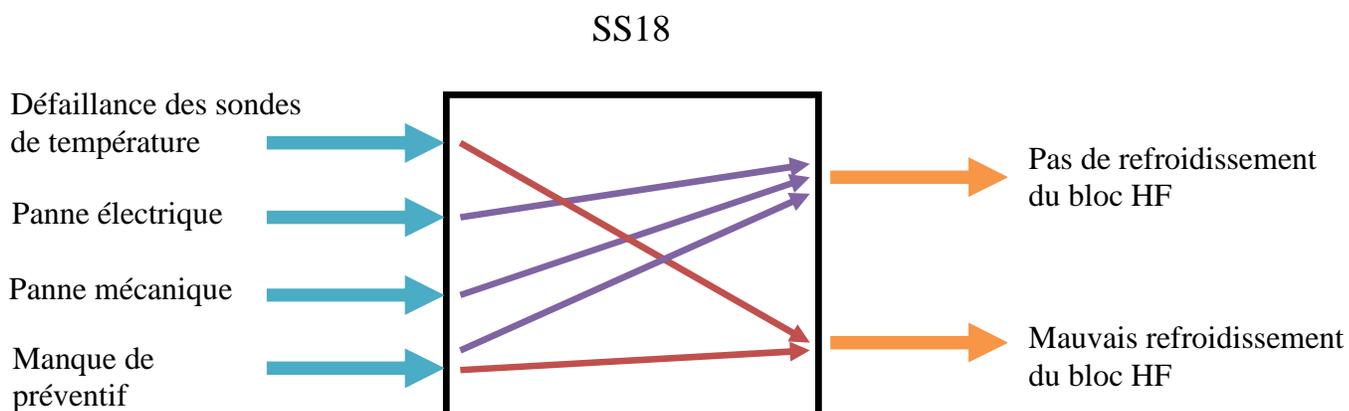


Figure 3-26 : Scénario court du SS18

3.2.2.1.5 Construction des scénarios longs d'enchaînement d'ENS

Maintenant que nous avons déterminé quelques scénarios courts, nous allons envisager des scénarios dits longs. Si nous mettons toutes les boîtes noires sur une même page, il est possible de trouver des sorties et des entrées communes. En reliant les boîtes noires, nous obtenons des scénarios longs d'enchaînement d'évènements (voir Figure 3-27)

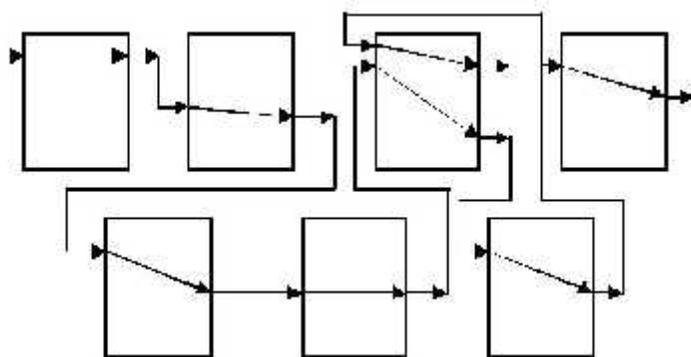


Figure 3-27 : Génération de scénarios longs par le schéma des boîtes noires

En reliant les sorties des boîtes noires avec des entrées de même nature, nous avons obtenu deux scénarios longs présentés dans l'annexe E.

3.2.2.1.6 Présentation des scénarios sous forme de pré-arbres logiques

Après la construction des scénarios longs, nous avons la possibilité de rassembler, de concaténer sur un même accident redouté, tous les enchainements y aboutissant.

Dans notre cas, nous avons trouvé plusieurs enchainements d'évènements conduisant à quatre accidents redoutés présentés ci-après.



Figure 3-28 : Pré-arbre logique 1

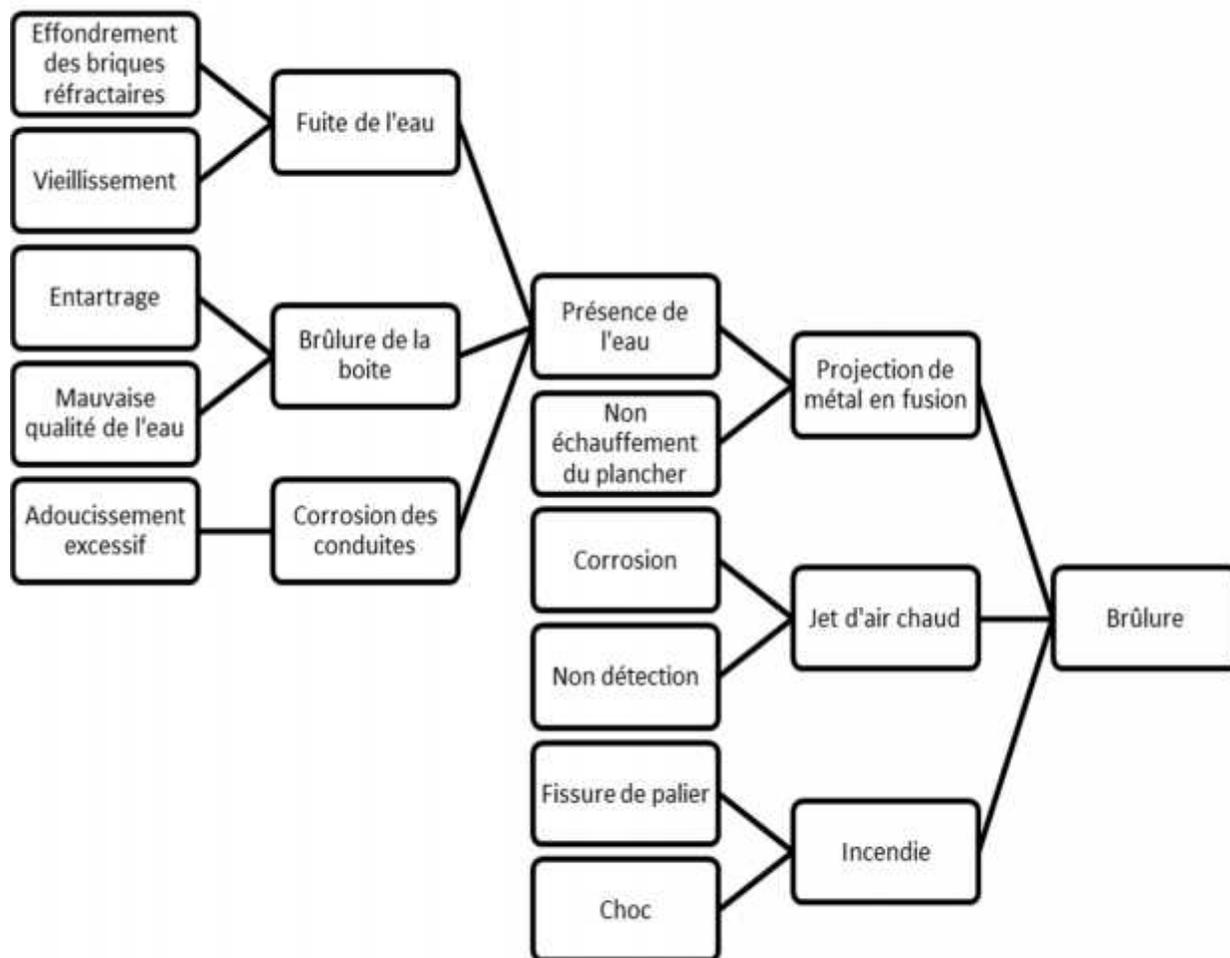


Figure 3-29 : Pré-arbre logique 2

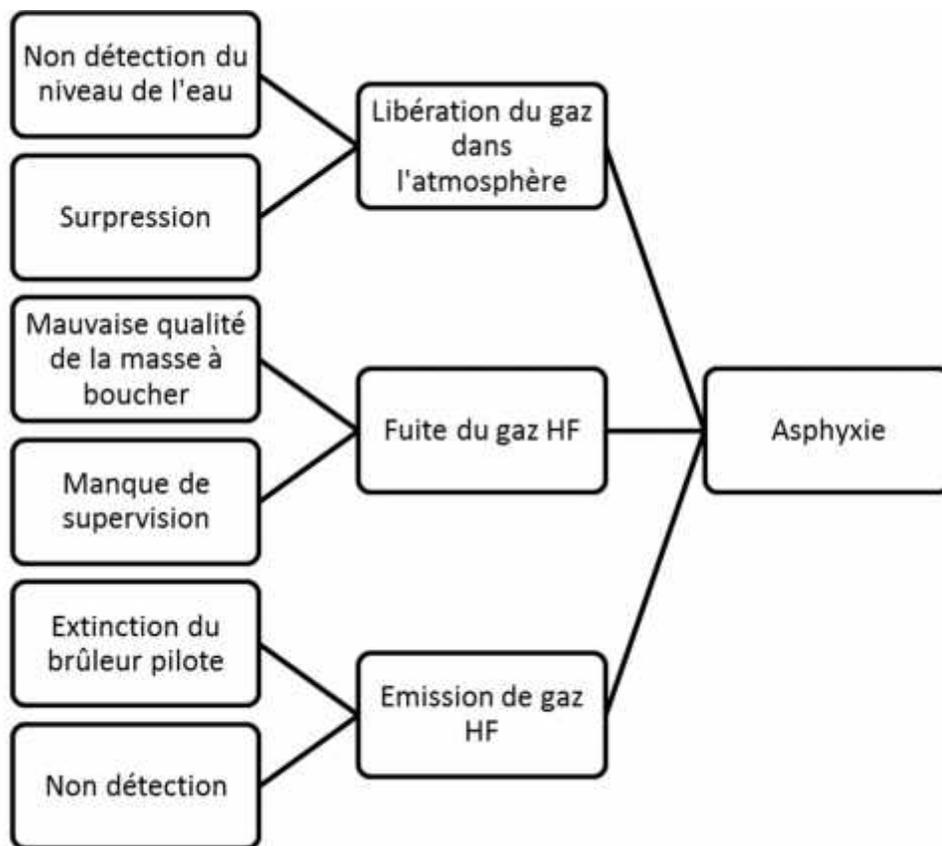


Figure 3-30 : Pré-arbre logique 3

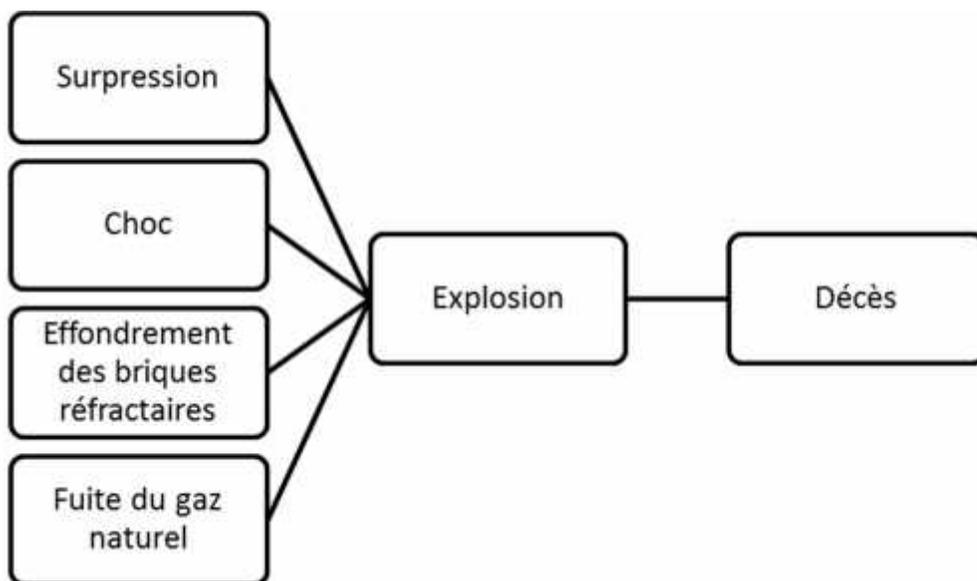


Figure 3-31 : Pré-arbre logique 4

Pour finir, il faut présenter chaque branche de l'arbre séparément afin de pouvoir présenter les scénarios que nous allons évaluer. Nous obtenus des enchainements présentés par le schéma suivant :

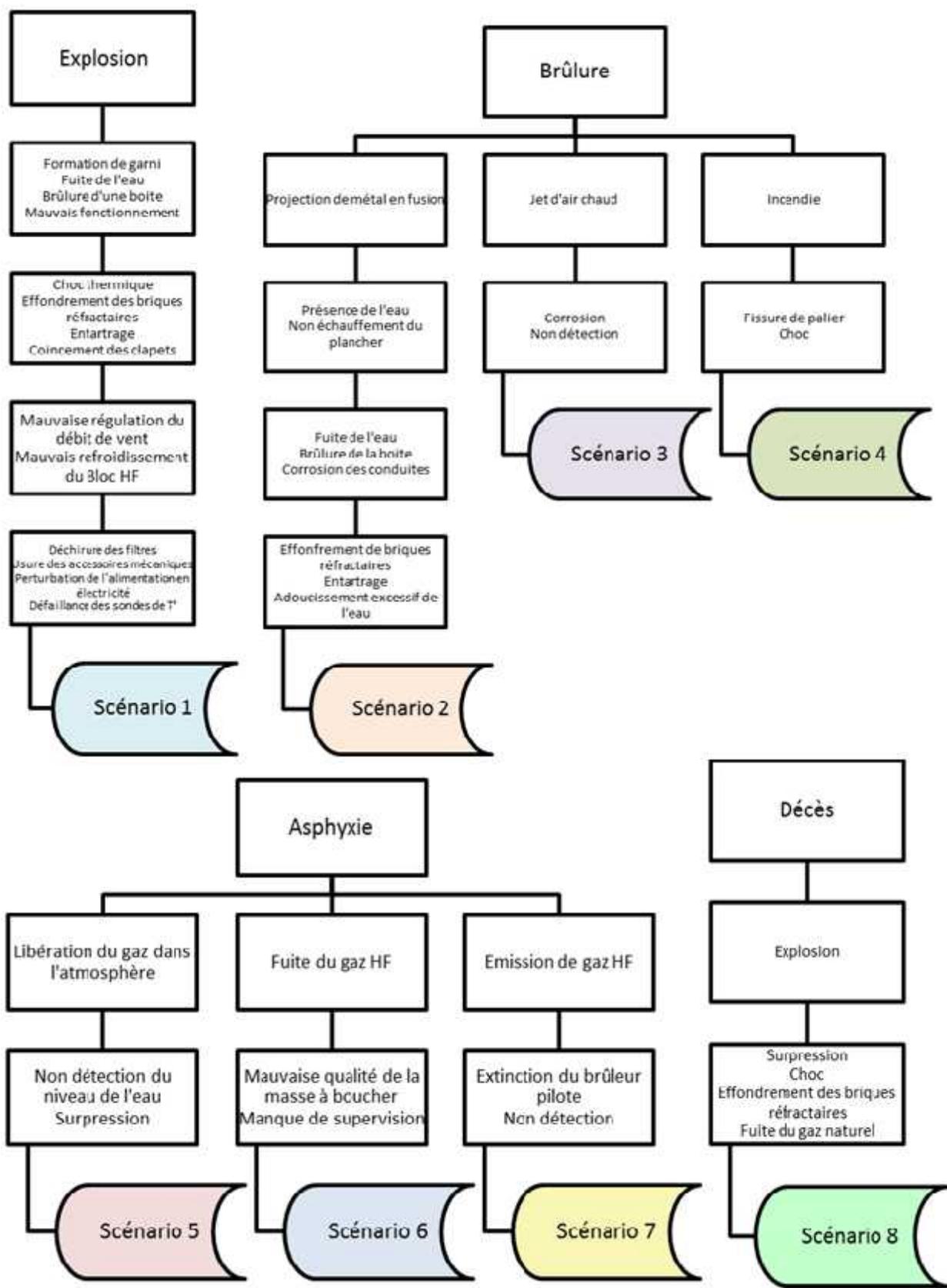


Figure 3-32 : Scénarios retenus par MADS-MOSAR

3.2.2.1.7 Évaluation des scénarios

Les scénarios étant construits il faut les évaluer afin de déterminer leur gravité par rapport aux cibles concernées. Dans ce cas, nous allons effectuer une évaluation qualitative.

Définitions des gravités :

- **G1** : Très important, mort d'hommes.
- **G2** : Important, accidents avec arrêt de travail avec invalidité physique.
- **G3** : Significatif, accidents avec arrêt sans invalidité physique.
- **G4** : Mineur, blessures légères, accidents sans arrêt de travail.

Définitions de la probabilité de l'effet :

- **P1** : Probable (plus d'une fois dans la vie de l'installation)
- **P2** : Peu probable (une fois dans la vie de l'installation)
- **P3** : Improbable (peut être une fois dans la vie de l'installation)
- **P4** : Très improbable (zéro fois dans la vie de l'installation)

Tableau 3-16 : Evaluation des scénarios

Scénario	Probabilité	Gravité
Scénario 1	P2	G1
Scénario 2	P1	G2
Scénario 3	P2	G2
Scénario 4	P2	G2
Scénario 5	P3	G1
Scénario 6	P2	G1
Scénario 7	P3	G1
Scénario 8	P3	G1

3.2.2.1.8 Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios

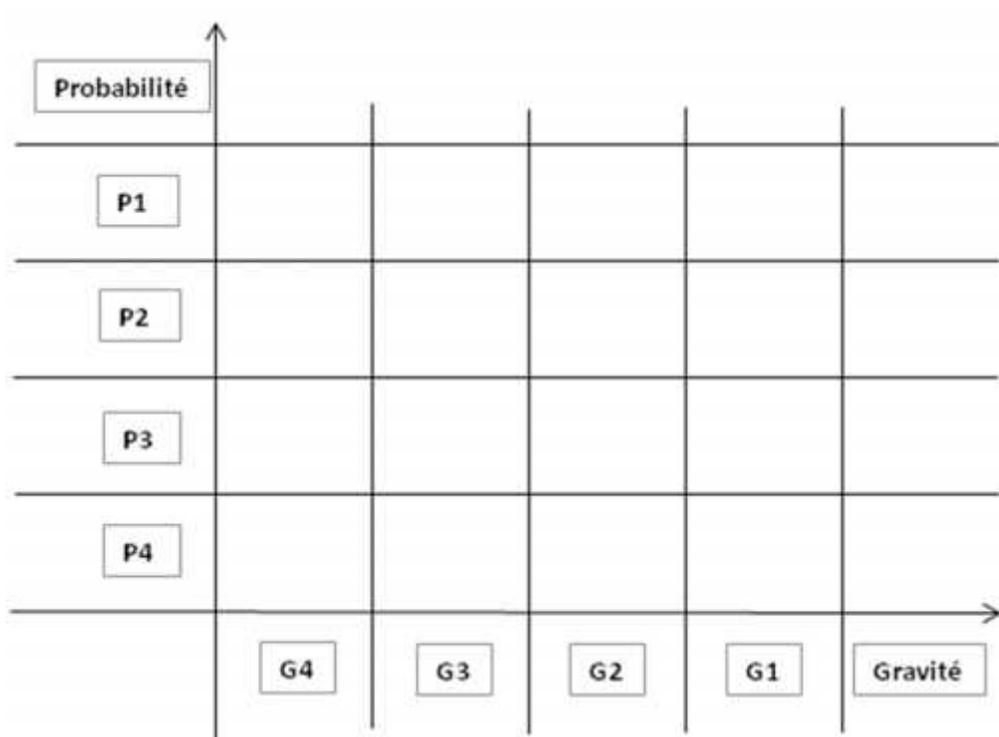


Figure 3-33 : Négociation des échelles (Premier niveau de négociation)

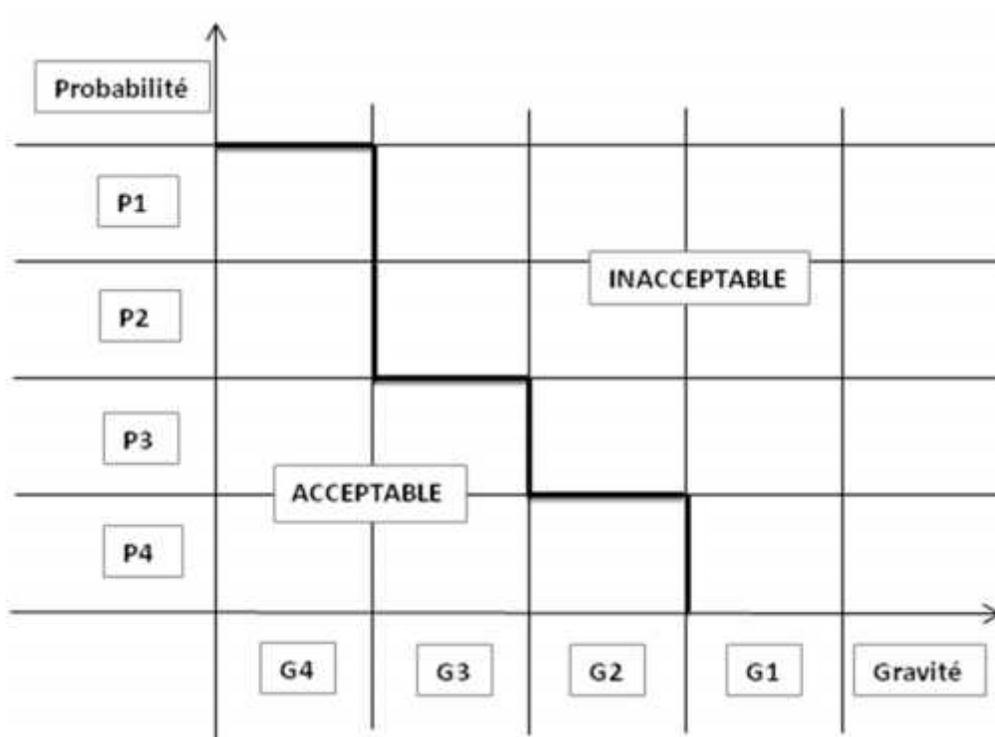


Figure 3-34 : Passage de la frontière (Deuxième niveau de négociation)

Une fois les grilles établies, les scénarios sont situés dans celles-ci. Leur évaluation en probabilité est le plus souvent qualitative, sauf s'il a été possible de construire des arbres de défaillance quantifiés, ce qui est rare.

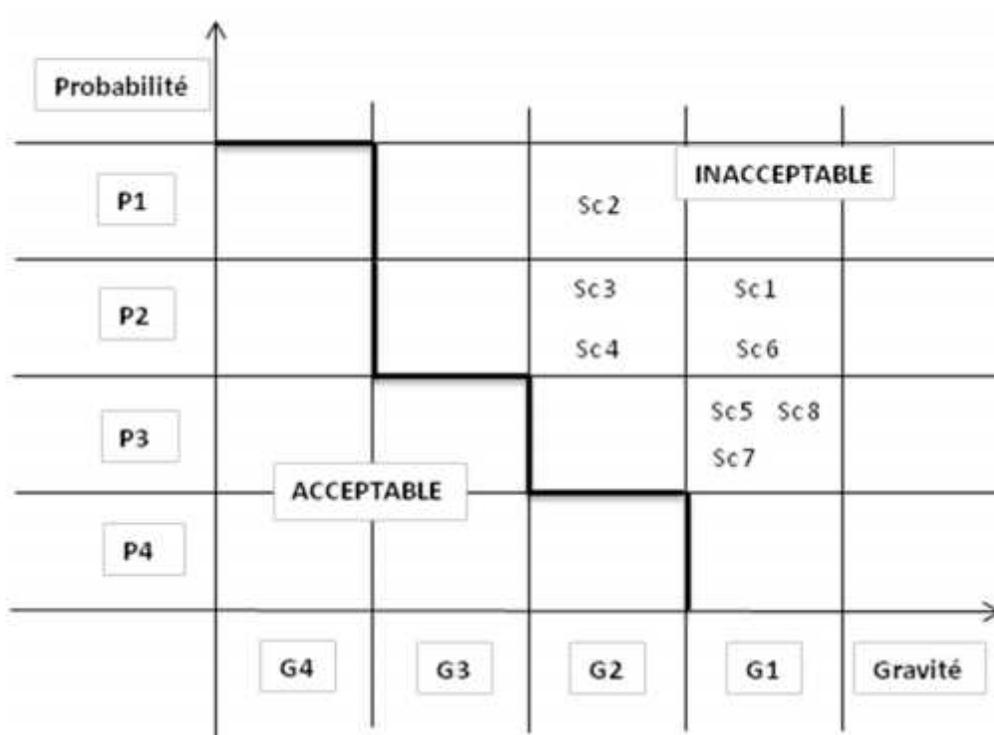


Figure 3-35 : Appréciation des scénarios à risques

Nous constatons que tous les scénarios se situent dans le domaine d'inacceptabilité. Nous avons cinq scénarios proches de la frontière, ce qui veut dire qu'ils peuvent devenir acceptables après la mise en place des mesures de protection et de prévention.

3.2.2.1.9 Définition des moyens de prévention et de protection

Cette partie de l'analyse consiste à identifier les moyens de prévention et de protection nécessaires pour éviter les scénarios d'accidents majeurs et ceci dans toutes les phases de vie de l'installation notamment en conception et en exploitation. Nous pouvons appeler ces moyens des barrières. Ces dernières peuvent être physiques (techniques ou technologiques), virtuelles, procédurales (opératoires.), passives ou actives. Ces barrières vont permettre de neutraliser les scénarios, de les réduire en terme de gravité (Protection) ou de probabilité (Prévention), ou des deux. Ainsi, ils passeront peut être du côté acceptable.

En s'appuyant sur le tableau B (tableau 3-17), l'identification des barrières de prévention et de protection va être faite pour chaque scénario retenu. (Annexe F)

Tableau 3-17 : Définition des barrières de prévention/protection (Tableau B)

1. Module de conception	1.1	Solutions principales concernant la conception de construction (étude protection collective)
	1.2	Climatisation – Ventilation (Élément important d’une installation en matière de prévention – Recherche de son adéquation aux sources de dangers (diagnostic) ou recherche de conception pour répondre aux sources de dangers)
2. Module concernant le personnel	2.1	Protection individuelle du personnel
	2.2	Surveillance médicale
	2.3	Formation du personnel
	2.4	Facteur d’ambiance
	2.5	Comportement humain
3. Module technique et réglementaire	3.1	Consignes et consignations – Procédures
	3.2	Réglementation applicable
	3.3	Contrôle et vérification techniques : contrôle qualité
	3.4	Télésurveillance, télédétection, télémessure, réseaux de communication
	3.5	Maintenance
4. Module des postes de travail	4.1	Définition et étude des postes de travail
5. Module concernant le champ spécifique et l’environnement	5.1	Implantation (choix) – Balisage – Accès – Circulation (interne ou externe)
	5.2	Environnement : influence de l’installation sur : 5.2.1 eau FN – IN (Fonctionnement Normal – Incident) 5.2.2 air FN – IN 5.2.3 déchet FN – IN 5.2.4 flore FN – IN 5.2.5 faune FN – IN 5.2.6 population FN – IN

Il nous reste à vérifier si les scénarios précédemment situés dans les grilles Gravité x Probabilité « migrent », une fois les barrières définies, dans la zone d’acceptabilité de ces grilles. Nous allons examiner la nouvelle situation des scénarios dans la grille G x P, après avoir réévaluer les scénarios retenus en tenant en compte les barrières de prévention et de protection.

Tableau 3-18 : Réévaluation des scénarios tenant compte des barrières

Scénario	Probabilité	Gravité
Scénario 1	P4	G1
Scénario 2	P3	G4
Scénario 3	P4	G2
Scénario 4	P3	G3
Scénario 5	P4	G1
Scénario 6	P3	G1
Scénario 7	P4	G1
Scénario 8	P4	G1

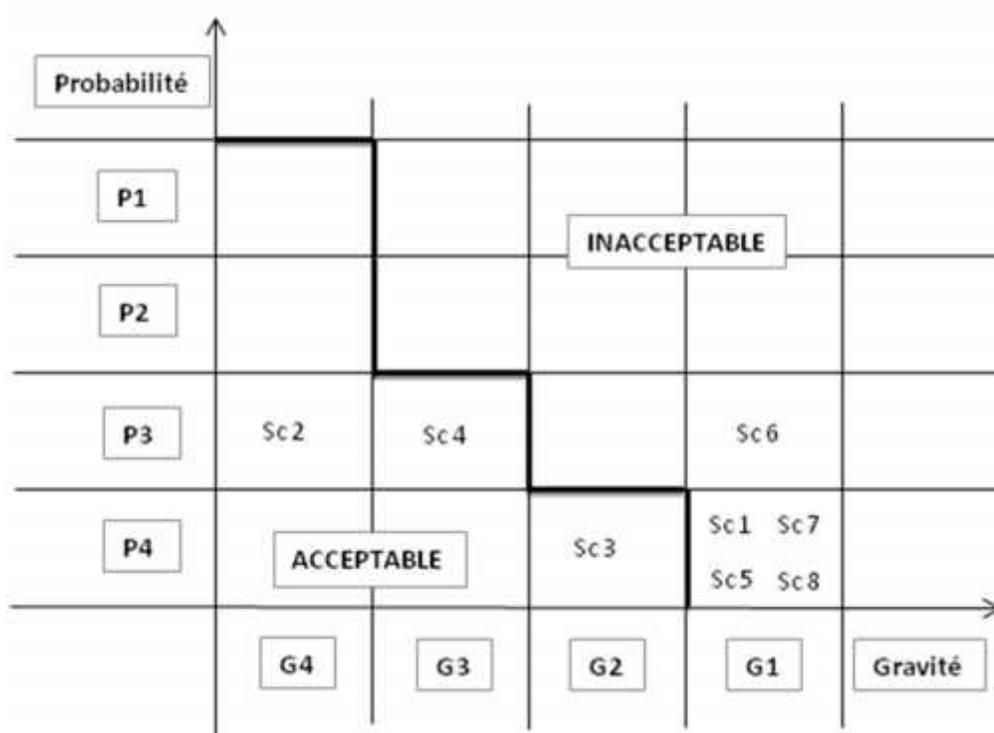


Figure 3-36 : Nouvelle situation des scénarios à risque

Nous constatons que cinq scénarios sur huit restent du côté des risques jugés inacceptables. Ils constituent des risques résiduels.

3.2.2.2 Module B

Le premier module nous a permis d'identifier les principaux événements qui s'articulent dans des scénarios d'accidents et convergent vers les événements majeurs. Il est remarquable que dans les arbres logiques ainsi construits, les événements primaires sont de deux natures : des événements de nature techniques (ou dysfonctionnements techniques) et des événements de nature opératoire qui impliquent les humains présents dans l'installation et à tous niveaux (appelés globalement opérateurs). (voir Figure 3-36)

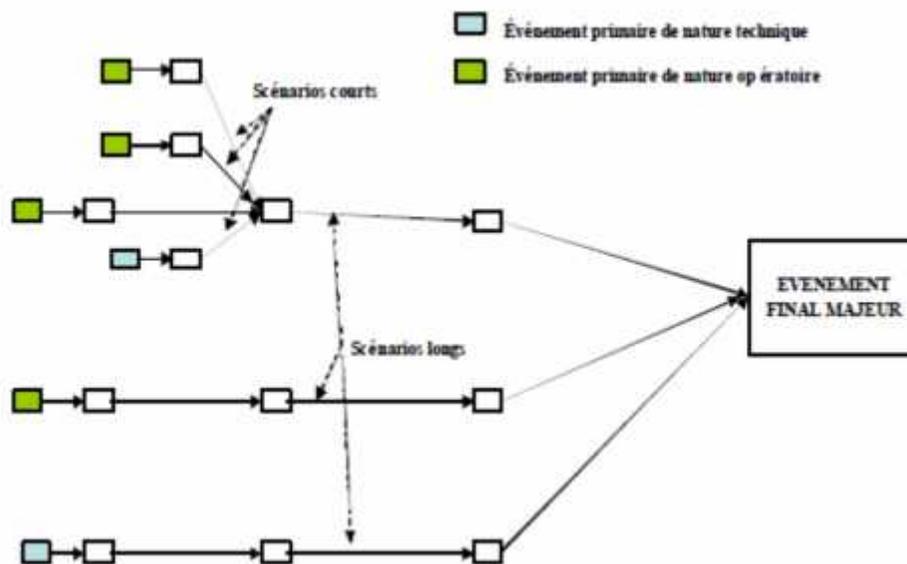


Figure 3-37 : Arbre logique et ses événements primaires

Dans ce niveau d'analyse, nous allons rechercher les dysfonctionnements de nature technique en élaborant des AMDEC appliquées sur les appareillages identifiés comme étant à l'origine de ces dysfonctionnements. Nous pouvons aussi utiliser tout autre outil approprié de la Sécurité de Fonctionnement. Pour rechercher les dysfonctionnements opératoires, Nous pouvons aussi élaborer des AMDEC opératoires ou utiliser tout autre outil d'analyse d'activité des opérateurs ou un outil mixte tel que HAZOP.

Cette analyse est faite dans le cadre d'une étude de dangers dans laquelle nous nous intéressons beaucoup plus aux dysfonctionnements techniques, cela implique l'utilisation de l'AMDEC.

Chaque identification détaillée de dysfonctionnement fait ensuite l'objet d'une mise en forme de l'information ainsi recueillie sous forme d'un arbre de défaillances.

L'analyse microscopique de l'installation a déjà été abordée dans la première démarche de l'analyse des risques (AMDEC + Nœud Papillon)

MADS-MOSAR nous a permis d'analyser les risques techniques de l'unité HF n°2 et d'identifier les moyens de prévention et de protection nécessaires pour les maîtriser.

Le module A représente la colonne vertébrale de la méthode MADS-MOSAR, il constitue une étape primordiale dans le processus de l'étude de dangers puisqu'il nous a permis de retenir huit scénarios d'accidents majeurs.

Dans leur globalité, les scénarios retenus lors de cette démarche sont similaires à ceux de la démarche précédente (explosion au contact fonte en fusion/eau, émanation de CO, explosion dans le circuit d'épuration des gaz HF).

Le déroulement de la méthode est fastidieux et la difficulté de sa mise en œuvre est amplifiée par la multitude d'enchaînements possibles. Cependant, cela peut devenir un avantage dans le cas où nous voulons adapter la méthode à notre besoin.

La démarche de MADS-MOSAR peut être récapitulée dans la figure 3-37.

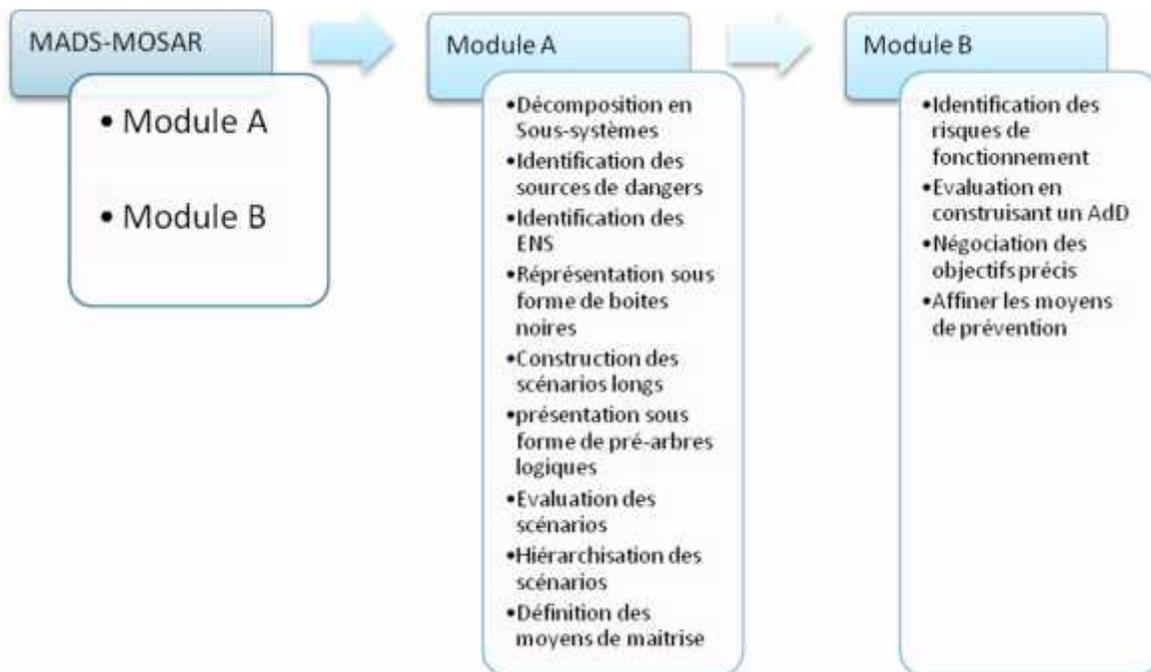


Figure 3-38 : Démarche MADS-MOSAR

CHAPITRE 4

SIMULATION DES CONSEQUENCES ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre est consacré à la simulation des conséquences des scénarios retenus lors de l'analyse des risques

4.1 Simulation

4.1.1 Scénarios retenus

Le choix des scénarios est basé sur la gravité de leurs conséquences potentielles

✓ Scénario 1 : Explosion du bloc HF (effet domino)

Suite à l'introduction d'une quantité considérable de l'eau à l'intérieur du bloc HF, l'eau se décompose en oxygène et hydrogène à cause de la température élevée dans le four. L'oxygène est rapidement lié, mais l'hydrogène reste dans le four. L'hydrogène peut brusquement exploser causant des fissures au niveau des parois du Bloc HF. En fonction de la hauteur de la fissure, les conséquences varient :

→ Écoulement de la fonte liquide par la fissure. La fonte entre en contact avec l'eau qui provient des conduites endommagées. Une explosion se produit. Ainsi plusieurs phénomènes d'ordre physique et chimique interviennent à haute température :

$\text{H}_2\text{O liquide} \rightarrow \text{H}_2\text{O vapeur}$ (expansion volumique due au changement d'état physique)

Métal réducteur + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ métal oxydé + H_2

puis $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ (explosion résultant de la combustion avec l'oxygène de l'air)

$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ (carbone de la fonte)

puis $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ (explosion résultant de la combustion avec l'oxygène de l'air)

→ Libération du gaz HF causant une dispersion d'un nuage de gaz toxique ou une explosion de gaz, s'il y a présence d'une source d'ignition

✓ Scénario 2 : Explosion du laveur – circuit épuration de gaz HF

Suite à l'augmentation du niveau de l'eau à l'intérieur du laveur (défaillance du détecteur du niveau ou vanne de vidange) et le blocage des clapets de surpression, une rupture catastrophique du laveur se produit avec propagation d'une onde de pression.

4.1.2 Identification des cibles vulnérables

A proximité du bloc HF, nous comptons :

- ✓ Au sud-ouest, le poste de commande (PC) central de l'HF n°2 à 50 mètres;
- ✓ Au nord-est, les vestiaires à 60 mètres;
- ✓ Au nord, des bâtiments administratifs (DRH/PRP) à 150 mètres.

4.1.3 Simulation de la dispersion d'un nuage de monoxyde de carbone

La fuite de gaz HF, qui contient 21% de monoxyde de carbone, est causée par une fissure et une surpression à l'intérieur du Bloc HF. Notre simulation va se dérouler en deux étapes :

- 1) Calcul de la surpression créée par l'explosion de l'hydrogène.
- 2) Simulation de la dispersion de nuage gazeux.

4.1.3.1 Calcul de la surpression par la méthode Trinitrotoluène (TNT)

Cette méthode est la première méthode utilisée dans le monde pour prévoir et estimer les conséquences de tout type d'explosion accidentelle. Elle repose sur l'hypothèse de la possibilité de reproduire le champ de surpression engendré par l'explosion d'un gaz, en faisant exploser du TNT. L'équivalent TNT d'un mélange explosible correspond à la masse de TNT qui peut produire le même champ de surpression engendré par l'explosion d'un kilogramme de mélange explosible. Dans notre cas, le mélange explosible est l'hydrogène.

L'équivalent TNT peut être calculé par la relation :

$$M_{TNT} = a \frac{E_{H_2}}{Q_{TNT}} = a \frac{M_{H_2} \times Q_{H_2}}{Q_{TNT}} - 1$$

Tel que :

E_{H_2} : L'énergie libérée après la combustion de l'hydrogène en kJ

M_{H_2} : La masse de l'hydrogène (kg)

Q_{H_2} : Le pouvoir calorifique de l'hydrogène (120500 kJ / kg)

Q_{TNT} : Le pouvoir calorifique du TNT (4690 kJ / kg)

a: Rendement de l'explosion de gaz (10%)

Le rendement « a » est déterminé à partir de l'analyse statistique des accidents passés.

Il est noté que la valeur du rendement « a » varie selon la réactivité de combustible.

Résultats de l'analyse

Si la totalité de combustible susceptible de former le nuage retenue, il est recommandé des rendements de l'ordre de 1 à 15%.

En 1984, Lannoy a analysé 23 accidents pour estimer le rendement. Il est ressorti de ses analyses que :

Le rendement moyen d'une explosion est de 4%, et la probabilité est de 0,6 qu'il soit inférieur ou égal 4%.

Si le rendement est 10%, la probabilité est 0,97 qu'il soit inférieur ou égal à 10.

Après ces analyses, Lannoy a proposé de retenir « a =10% » pour une étude de sécurité (la probabilité de 0,97 peut représenter aussi un niveau de confiance).

Par ailleurs, le rapport pour un kilogramme de gaz est toujours au voisinage de 0.1, si le gaz considéré est un hydrocarbure.

Après le calcul de la masse, on cherche la valeur de la surpression à partir de l'abaque de TNT (Annexe G) :

$$\Delta P = f \left(\lambda = \frac{R}{\sqrt[3]{M_{TNT}}} \right)^{4-2}$$

Tel que :

ΔP : La surpression créée par l'explosion (bar).

λ : La distance réduite (m / kg^{1/3}).

R : La distance au centre de l'explosion (m).

M_{TNT} : Masse de l'équivalent TNT (kg).

Calcul de la masse de l'hydrogène :

Le taux normal de l'hydrogène à l'intérieur du Bloc HF est entre 1 et 3 %. L'explosion qui fait l'objet de notre étude est due à une augmentation du taux d'hydrogène jusqu'à 10%. Soit 70 m³ équivalent à 57,3 Nm³ calculé par la relation :

$$V'(Nm^3) = V(m^3) \times \frac{P_{absolue}}{1,01325} \times \frac{273}{273+T} - 3$$

Tel que T = 168°C et P = 1,34 bar à l'intérieur du bloc HF.

En convertissant le volume en masse, nous obtenons $M_{H_2} = 5,15$ kg (*UniversalIndustrialGases, inc.*)

La masse de l'équivalent TNT peut désormais être calculée et nous obtenons :

$$M_{TNT} = 13,23 \text{ kg}$$

Il nous reste à calculer la distance réduite qui est en fonction de la distance au centre de l'explosion, nous prenons R = 4 mètres pour nous assurer de rester à l'intérieur du Bloc HF. $\lambda = 1,69 \text{ m} / \text{kg}^{1/3}$

En repérant cette valeur sur l'abaque courbe TNT TM5-1300, nous trouvons une valeur de surpression de 6 bars. La pression initiale est de 1,34 bar. Nous déduisons que la pression à l'intérieur du Bloc HF après l'explosion est devenue 7,34 bars.

Simulation de la dispersion de nuage toxique avec les logiciels PHAST et ALOHA

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

CAMEO-ALOHA est un logiciel utilisable pour des situations d'urgence. Il a été développé conjointement par les 2 entités américaines suivantes : "Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prevention, Preparedness and Response" (EPA) et le "National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration" (NOAA).

ALOHA modélise la dispersion atmosphérique de gaz neutre, par un module basé sur l'approche gaussienne, et de gaz plus lourd que l'air au moyen d'un module de gaz dense. ALOHA permet

notamment la modélisation d'émissions à partir de flaques en ébullition ou non, de réservoirs sous pression de gaz ou de liquide, de réservoirs liquides non pressurisés, de réservoirs contenant des gaz liquéfiés, de conduite de gaz sous pression.

Dans notre simulation, nous avons utilisé les deux logiciels pour que nous puissions comparer les résultats.

✓ Simulation par PHAST

Tableau 4-1 : Distances de dispersion pour chaque seuil de toxicité (résultats du PHAST)

Seuils de toxicité (ppm)	Distance (m)
200	100,44
500	138,56
1200	407,11

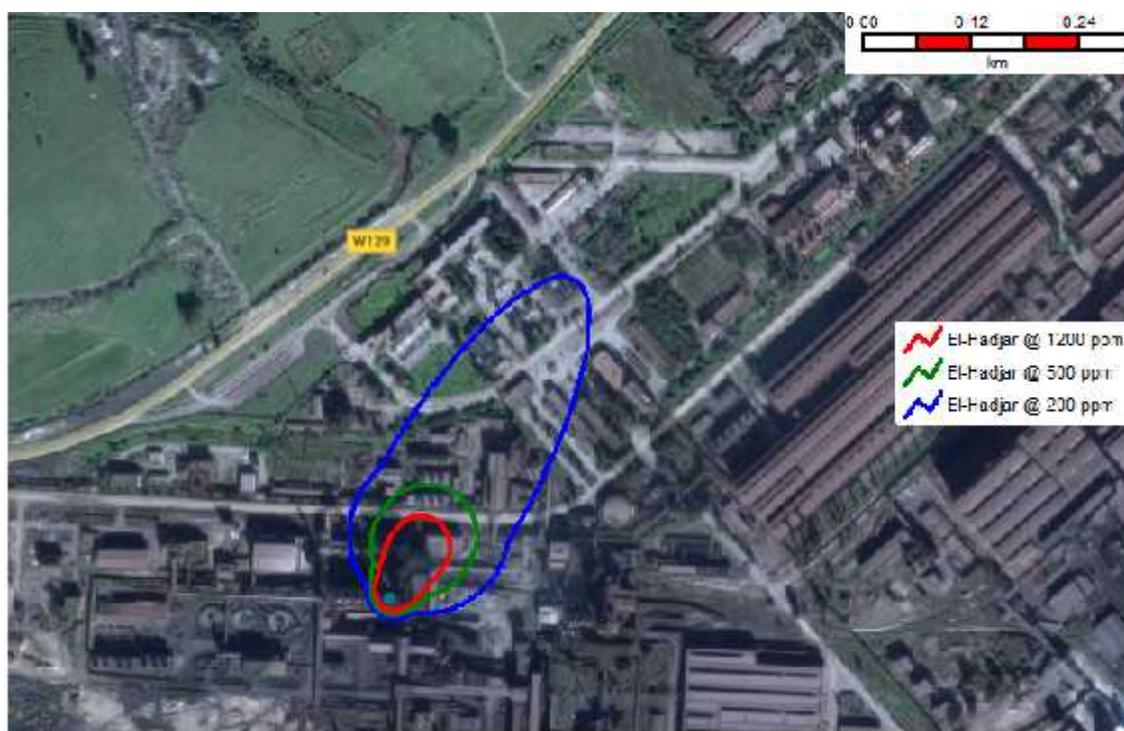


Figure 4-1 : Illustration de la dispersion du monoxyde de carbone (Résultat du PHAST)

✓ Simulation par ALOHA

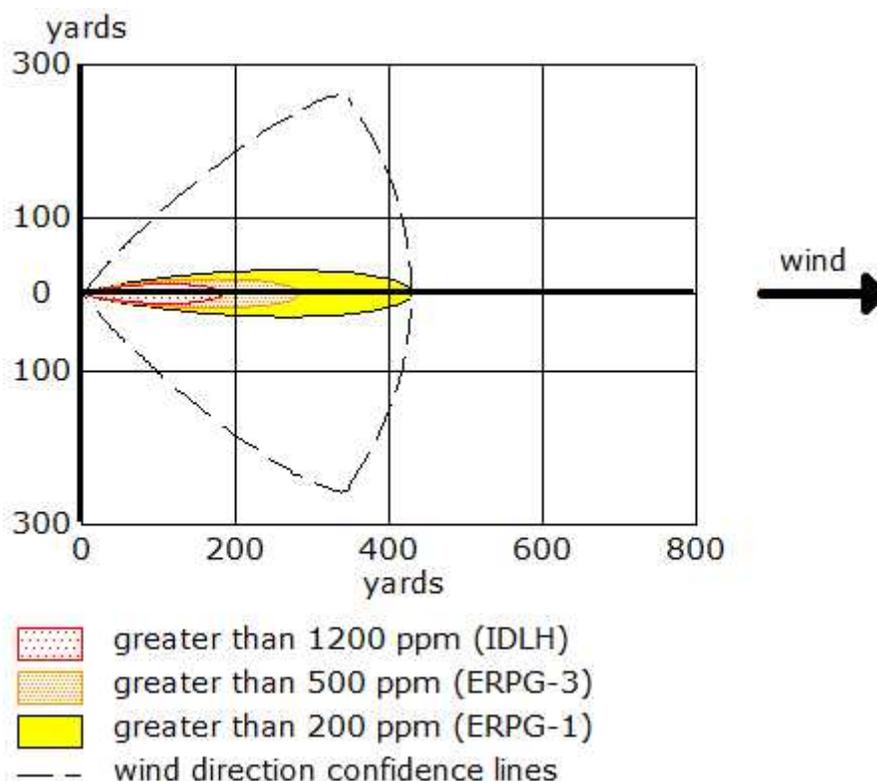


Figure 4-2 : Présentation de la dispersion du monoxyde de carbone (Résultat de l'ALOHA)

4.1.4 Interprétation des résultats

La gravité d'une intoxication est fonction de la concentration de CO dans l'air et de la durée de l'exposition

Tableau 4-2 : Symptômes développés en fonction de la concentration du CO dans l'air (centreantipoisons.be)

CO (ppm)	Symptômes
200	Maux de tête, vertiges, nausées, fatigue.
400	Maux de tête intenses, danger de mort après 3 heures.
800	Maux de tête, vertiges, nausées. Perte de connaissance en 45 min, décès après 2-3 heures.
1600	Symptômes sévères après 20 min, décès dans la limite d'une heure.

Pour la concentration de 200 ppm, nous avons obtenu presque la même distance avec les deux logiciels (1 yard = 0,9144 mètres).

Dans ces conditions, le nuage toxique atteint les bâtiments administratifs, ainsi que les vestiaires. Pour le poste de commande central, le nuage pourrait l'atteindre facilement si la direction du vent était du nord-est (faible probabilité).

4.2 Recommandations

Les recommandations citées ci-après servent pour diminuer la probabilité d'occurrence des accidents majeurs.

4.2.1 Conduite à tenir

Les ingénieurs d'exploitation doivent être compétents et assez expérimentés pour pouvoir corriger les anomalies qui peuvent être rencontrées lors de la marche de l'installation, avant qu'elles ne soient compliquées.

4.2.1.1 Réglage thermique

Il s'agit de maintenir la stabilité thermique du haut fourneau, ou plutôt celle de la zone d'élaboration. Elle se fait d'abord par la mesure de la température et de la teneur en silicium de la fonte. Ensuite, il faut faire varier l'enfournement de combustible (coke, gaz naturel), la température et l'humidité du vent. L'ingénieur du haut fourneau décide des moyens à mettre en œuvre et établit des consignes d'action à l'usage des opérateurs.

4.2.1.2 Réglage de la basicité du laitier

Une rectification du lit de fusion, en vue de régler la basicité du laitier, peut être nécessaire si :

- Les caractéristiques du produit s'écartent de celles visées soit à cause des variations dans la marche du haut fourneau (rejet de poussière, silicium de la fonte ...), soit à la suite d'une fluctuation incontrôlée de la masse ou de la composition des matières premières.
- L'une des matières premières vient à manquer.

4.2.1.3 Réglage du vent et de la contre-pression

La contre pression est établie au niveau maximal autorisé par l'installation, quand le fourneau est en marche normale. On la réduit si le débit de vent est diminué, de façon à maintenir constante la vitesse du gaz au gueulard

4.2.2 Surveillance de la marche et de l'état du haut fourneau

La surveillance de l'état du HF permet d'éviter les anomalies en mettant en place des équipements de mesure proposés dans le tableau 4-3

Tableau 4-3 : Moyens de mesure proposés

Repère	Moyens de mesure	Nombre	Usage
1	Sonde de niveau	3 ou 4	Mesure niveau chargement
2	Prélèvement gaz	1 à 4	Analyse, température, pression
3	Prélèvement sur 1 rayon	1 à 3	Analyse gaz, température
4	Profilomètre	1	Relevé profil charge
5a	Télévision infrarouge	1 à 2	Examen surface charge
5b	Thermovision gueulard	1	Carte thermique charge
6	Laser, radar (gueulard)	1	Relevé profil charge
7	Sonde verticale	1	Analyse gaz, température
8	Sonde verticale	1 à 3	Carte thermique, analyse
9a	Couple thermoélectrique (paroi)	4 à 16	Température gaz
9b	Magnétomètre	1	Distinction couches coke ou minerai
10	Traceur radioactif	1 à 5	Carte thermique, zone fusion
11	Couple thermoélectrique (briques)	88	Température, flux thermique
12	Couple thermoélectrique (plaques)	136	Température, flux thermique
13	Prise de gaz (paroi)	20 à 40	Pression, analyse gaz
14	Marqueur radioactif	92	Repère usure paroi
15H	Sonde cuve haute	1 à 2	Analyse gaz, température
15B	Sonde cuve basse	1	Analyse gaz, température
16	Sonde ventre	1	Température, endoscopie, prélèvement
17	Eau refroidissement	variable	Débit, température
18	Prélèvement vent	1	Température, pression, débit
19	Prélèvement vent	1	Humidité, oxygène
20	Prise pression	1/tuyère	Débit vent par tuyère
21	Injection tuyère	1/tuyère	Débit
22	Sonde de tuyère	1	Température, prélèvement
23	Caméra tuyère	variable	Examen zone de combustion
24	Prélèvement fonte	1	Température, analyse, pesée
25	Prélèvement laitier	1	Analyse, température
26	Couple thermoélectrique (brique)	126	Température, flux thermique, usure
C	Chargement (coke et minerai)		Pesée, analyse, granulométrie
G	Pesée, pression		Masse par trémie et par anneau

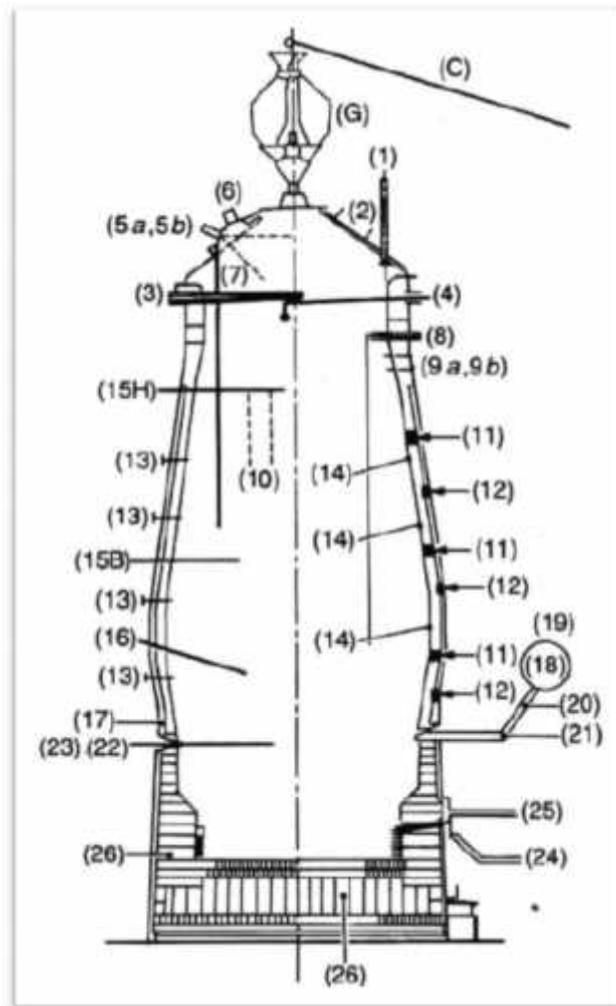


Figure 4-3 : Repère des moyens de mesure

Le matériel doit être particulièrement robuste pour résister dans l'environnement du HF : température, humidité. Les capteurs sont protégés autant qu'il est possible et les autres appareils sont installés dans des salles spécialisées proches du HF pour réduire la longueur des câbles.

4.2.3 Plan de maintenance

Pour établir un plan de maintenance préventive, il faut :

- Avoir une connaissance des installations présente dans le site industriel et une définition consensuelle des priorités de chaque équipement avant de commencer sa mise en plan de maintenance.
- Commencer la réalisation des équipements prioritaires.
- Classer les composantes des sous-systèmes en fonction des systèmes.

Pour notre cas, le plan de maintenance préventive proposée se consacre sur les équipements de l'unité du haut fourneau. En se basant sur la décomposition fonctionnelle de l'AMDEC, nous avons proposé le tableau suivant :

Tableau 4-4 : Plan de maintenance préventive

Plan de maintenance préventive de l'unité Haut Fourneau										
N°	Système	N°	Sous-système	Équipement	Surveillance et intervention			Remplacement et intervention		
					Fréquence	Consignes	Commentaires	Fréquence	Consignes	Commentaires
1	Bloc HF	1	Refroidissement du bloc HF	Serpentin de la boîte de refroidissement	2 mois	Respect des procédures de sécurité	Contrôler le refroidissement			
		2	Creuset	Trous de coulée	2 mois	Respect des procédures de sécurité	Vérification des trous			
				Tuyère circulaire	2 mois	Respect des procédures de sécurité	Teste des tuyères			
		3	Évacuation et transport de la fonte	Rigole	2 mois	Respect des procédures de sécurité	Contrôle des voies d'évacuation			
		4		Poche tonneau	1 mois					
2	Vent chaud	1	Partie hydraulique de la centrale à vent	Pompe hydraulique	1 mois	Respect des procédures de sécurité	Vérification du niveau d'huile			
		2	Partie compresseur de la centrale à vent	Vanne anti-pompage	1 mois	Respect des procédures de sécurité	Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.			
		3	Cowpers	Vannes des cowpers	1 mois	Respect des procédures de sécurité	Contrôler la vanne			

3	Epuratio n gaz HF	1	Pot à poussière	Vanne de purge	1 mois	Respect des procédu res de sécurité	Contrôler la vanne			
		2	Laveur	Pulvérisateur	1 mois	Respect des procédu res de sécurité	test du Pulvérisateur			
				Vanne de purge	1 mois	Respect des procédu res de sécurité	Contrôle la vanne			
		3	Torchère	Brûleur pilote	2 mois	Respect des procédu res de sécurité	Contrôler la direction des bruleurs			
4	Eau de refroidiss ement	1	Groupe de pompage	Moto-pompe	3 mois	Respect des procédu res de sécurité	Inspection sensorielle et visuelle. bruit anormal, vibrations ou fuites éventuelles.			
				Filtre à pompe	3 mois	/	/	100 0H de serv ice	Res pect des proc édu res de sécu rité	Chang ement d'huil e, filtre à l'huile et filtre à air
				Conduites	6 mois	Respect des procédu res de sécurité	Contrôler les conduites et les raccordements, particulièrement celles des brides.			
		2	Reservoir à eau		3 mois	Respect des procédu res de sécurité	Contrôler le reservoir			

Le plan de maintenance préventive de l'unité HF a pour but de prévenir les risques dus aux défaillances des équipements qui pourraient être à l'origine de l'apparition des phénomènes

dangereux. Ce plan prend en considération les équipements critiques donnés dans les résultats de l'AMDEC.

Dans ce chapitre, des mesures de sécurité dans le volet prévention ont été mises en place pour réduire le niveau des risques définis précédemment dans l'unité haut fourneau.

CONCLUSION

Ce travail, qui consiste en une étude de dangers, vise à identifier les causes pouvant conduire à des accidents majeurs (explosion, incendie, dispersion atmosphérique), tout en fournissant des solutions pour y remédier.

Le commencement de cette étude était avec le recueil d'informations sur l'installation, l'environnement, les caractéristiques des produits utilisés et les paramètres de process. Cette étape est capitale pour l'analyse des risques.

La partie Analyse des Risques a porté sur deux volets. Le premier est une combinaison de l'APR, AMDEC et Nœud Papillon. Quant au deuxième, il s'agit de la méthode MADS-MOSAR.

L'analyse préliminaire des risques nous a permis de ressortir 47 évènements redoutés répartis sur cinq systèmes de l'unité HF n°2. La quantification qualitative des évènements redoutés et des risques a conclu que le système Bloc HF est le plus critique et a exclu le système chargement de matière de l'analyse détaillée des risques.

En nous basant sur les résultats obtenus par l'APR, nous avons pu hiérarchiser les composants susceptibles de causer des évènements critiques au niveau des systèmes, et ce, en vertu de l'AMDEC.

La méthode de Nœud Papillon s'est appuyé sur les résultats de l'APR et l'AMDEC. Nous avons construit cinq nœuds papillon autour de cinq évènements redoutés centraux et nous sommes sortis avec sept scénarios d'accidents majeurs.

Avec MADS-MOSAR, nous avons ignoré temporairement les résultats du premier volet pour mener une méthodologie intégrée ayant donné comme fruit huit scénarios d'accidents majeurs.

L'application de deux démarches différentes pour l'analyse des risques a permis de démontrer que la méthode intégrée MADS-MOSAR (grand système) est adaptée à la méthodologie de l'étude de dangers et peut, donc, être utilisée dans l'élaboration de cette dernière. L'enchaînement logique des étapes de cette méthode s'est avéré plus efficace que la combinaison des méthodes classiques.

A travers la simulation, nous avons démontré que le personnel dans les bâtiments administratifs n'est pas à l'abri des effets toxiques du monoxyde de carbone (150 m).

L'étude de dangers est négligée dans notre pays, il faut lui accorder davantage d'importance, lui consacrer une loi à part et fixer des critères plus exigeants pour l'approbation du dossier

d'autorisation d'exploitation des installations classées. Ce serait un bon début pour inculquer une culture HSE au sein des sociétés algériennes.

RÉFÉRENCES

- [1] Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique Populaire, N° 37. Décret exécutif n° 07-144, 2007.
- [2] BURTEAUX, Maurice. Haut fourneau – Théorie. Paris : Techniques de l'ingénieur, 10/10/1991. 29 p.
- [3] Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique Populaire, N° 37. Décret exécutif n° 06-198, 2006.
- [4] BONNEFF, Léon. BONNEFF, Maurice. La vie tragique des travailleurs : Enquêtes sur la condition économique et morale des ouvriers et ouvrières d'industrie. Paris : Etudes et documentation internationales, 1984. 273 p. ISBN 9782851390738.
- [5] MORTUREUX, Yves. Analyse préliminaire de risques - Méthode APR. Techniques de l'ingénieur. Traité sécurité et gestion des risques [en ligne]. 10/10/2002. [Consulté le 06/02/2016]. Disponible sur : <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/> (SE 4010)
- [6] B. DEBRAY, S. CHAUMETTE, S. DESCOURIERE, V. TROMMETER. Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Verneuil-en-Halatte : 13/10/2006. 119p.
- [7] LANDY, Gérard. AMDEC : Guide pratique. Saint-Denis : AFNOR, 2007. 225 p. ISBN 978-2-12-475101-3
- [8] IDDIR, Olivier. Nœud papillon : une méthode de quantification du risque. Techniques de l'ingénieur. Traité sécurité et gestion des risques [en ligne]. 10/06/2015. [Consulté le 20/03/2016]. Disponible sur : <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/> (SE 4055)
- [9] BOLVIN, Christophe. BALOUIN, Thibault. VALLEE, Agnès. FLAUW, Yann. Une méthode d'estimation de la probabilité des accidents majeurs de barrages : la méthode du nœud papillon. Colloque technique CFBR / AFEID "Pratique des études de dangers des barrages", Nov 2011, Lyon, France. CFBR, pp.33-40. <ineris-00973632>
- [10] DE DIANOUS, Valérie. DEUST, Céline. BOUISSOU, Charlotte. FARRET, Régis. CHAUMETTE, Sylvain. Prise en compte de la probabilité dans les études de dangers. Préventique Sécurité, 2007, pp.32-37. <ineris-00961915>
- [11] LE MOIGNE Jean-Louis. Théorie du système général : théorie de la modélisation. Edition. Paris : PUF, 1994. 321p. ISBN : 9782130465157

- [12] Périlhon, P., Sciences et techniques du danger méthode organisée systémique d'analyse des risques (MOSAR), S.D.P. chimiques, Ed. 1992, École Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy : Nancy. p.304.
- [13] PERILHON, Pierre. MOSAR-Présentation de la méthode. Techniques de l'ingénieur. Traité sécurité et gestion des risques [en ligne]. 10/10/2003. [Consulté le 02/04/2016]. Disponible sur : <<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/>> (SE 4060)
- [14] PERILHON, Pierre. Méthode MADS-MOSAR Pour en favoriser la mise en œuvre. Techniques de l'ingénieur. Traité sécurité et gestion des risques [en ligne]. 10/10/2010. [Consulté le 13/04/2016]. Disponible sur : <<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/>> (SE 4062)
- [15] GARDES, Laurence. Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : application au secteur du traitement de surface. Environmental Sciences. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; INSA de Lyon, 2001. French. <NNT : 2001ISAL0080>. <tel-00806215>
- [16] MOFFIT, Augustine. La sidérurgie. In *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*. Genève : Organisation internationale de travail, 2000, volume 4, p. 73.1-73.20. Partie XI : Branches basées sur les ressources naturelles. ISBN 9789222098156
- [17] J.F.LECHAUDEL. Y.M.e. *Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre*. 1999, INERIS.

ANNEXE A : Analyse fonctionnelle

	Nom	Entrée	Sortie	S S N o	Nom	Entrée	Sortie	Equipements
1	Bloc HF	Minerai de fer Agglomération Coke Vent chaud 1100°C Gaz naturel	Fonte Laitier Gaz HF	1	Gueulard	Minerai de fer Agglomération Coke	Gaz HF	Petite cloche Grande cloche Sas Conduites montée de gaz Bleeders Ligne d'équilibrage Pressostat Distributeur rotatif
				2	Refroidissement du bloc HF	Eau froide	Eau chaude	456 boîtes de refroidissement Serpentin
				3	Creuset	Vent chaud 1100°C Gaz naturel	Fonte liquide Laitier	Circulaire Coude Tuyère Tympe Trou de coulée Masse à boucher Perfo/boucheuse
				4	Evacuation et transport de la fonte	Fonte liquide sortant du haut fourneau	Fonte liquide vers l'aciérie à oxygène	Plancher Rigole Poche tonneau
2	Vent chaud	Air atmosphérique	Vent chaud Débit 180000 – 200000 Nm ³ /h	1	Partie électrique	Tension d'alimentation + Tension de réseau	Synchronisation (désaccouplage du MAs et relais sera asservis par MS)	Moteur Asynchrone (MAs) Excitation Moteur Synchrone (MS) Synchro coupleur Rotor 1 (1500 t/min)
				2	Partie mécanique +	Air atmosphérique	Vent froid 110°C	Multiplicateur Rotor 2 (5011)

					hydraulique	e (aspiration) T :24-36°C Taux d'humidité 68%		t/min) Soufflante Centrale hydraulique (huile de lubrification, motrice et de soulèvement) Ailettes rotoriques Ailettes statoriques
				3	Partie compresseur	Air atm	Vent froid 110°C	Conduites aspiration et refoulement Compresseur Filtres : reloomatic&deast loover Vanne anti- pompage
				4	cowpers	Vent froid Air de combustion Air mixte	Vent chaud 1265 °C Fumées Air de décompressio n	Briques réfractaires Sondes de température Vannes entrée/sortie : VAE10=vanne de décompression VAE12=vanne à fumée VAE13=air de combustion VAE15=vanne gaz mixte VAE18=vanne vent froid VAE19=vanne vent chaud
				5	Injection vent chaud	Vent chaud 1265 °C	Vent chaud 1100 °C	Rectiligne (conduite DN600) 2 thermocouples Vanne additionnelle Circulaire Tuyères Tympes Couvercle+chape lle
3	Epurati on gaz	Gaz HF non- épuré	Gaz mixte	1	Pot à poussière	Gaz HF non- épuré	Gaz HF épuré à 15%	Vanne de purge Cloche

	HF		(gaz HF épuré+gaz naturel)					d'isolement
				2	Laveur	Gaz HF épuré à 15%	Gaz HF semi épuré	Pulvérisateur (buses pulvérisatrices)
				3	Tube venturi + septum valve	Gaz HF semi épuré	Gaz HF semi épuré	Réduction du diamètre des conduites + régulation de la contre pression avec des cerceau-moteurs
				4	Electro-filtres	Gaz semi épuré	Gaz épuré	Transfo 5,5 KV → création d'un champ électrique qui va positionner toutes les particules vers un sens (purge)
				5	Torchère	Gaz HF épuré	Gaz HF brûlé	Vanne 1600 Cerveau-moteur Clapet papillon central Ø1600 Brûleur pilote 5 clapets de la torchère
4	Eau de refroidissement	Eau froide épurée (adoucie et contrôlée)	Eau chaude polluée	1	Traitement des boues	Eau chaude polluée	Eau non épurée + boue en pastille → PMA	Décanteur Racleur Epaississeur Filtre à vide Pompes à boues
				2	Refroidissement de l'eau avec les aéroréfrigérants	Eau non épurée	Eau refroidie	Aéroréfrigérants avec des grands ventilateurs Sondes de température pompes
				3	Traitement des eaux	Eau refroidie	Eau épurée	Adoucisseur Filtre à sable Ballon séparateur
				4	Salle des pompes (5 groupes) 1 ^e groupe → centrale à air et centrale à vent 2 ^e → bloc HF 3 ^e → retour du 1 ^e groupe 4 ^e → épuration gaz 5 ^e → relevage	Eau épurée refroidie	Eaux avec une grande pression et débit	Moto-pompes Sondes de température Bâche à eau

					du 3 ^e groupe			
				5	Equipements de refroidissement du bloc HF	Eau avec pression	Eau chaude polluée	456 boites de refroidissement plaquées sur le blindage du bloc HF

ANNEXE B : TableauAPR

Système Bloc HF

Phase opératoire/ Equipement	Evénement Redouté	Causes (Evénement initiateur)	Conséquences	Gi	Fi	Ci	Mesures de protection	Gr	Mesures de prévention	Fr	Cr	Recommandations	Phénomène Dangereux
Enfournement des matières premières	Arrêt du dispositif de chargement	Panne électrique Panne mécanique	Pas d'alimentation Perte de production Arrêt du haut fourneau	2	2	4		2	Contrôle périodique	1	2		
	Répartition asymétrique de la charge	Défaillance du distributeur rotatif	Usure des briques réfractaires Formation de garni	3	2	6	Surveillance de la température des montées de gaz	2		2	4		Explosion
	Alimentation avec des charges humides	Défaut de séchage	Favoriser la formation de garni	3	2	6	Surveillance de la température des montées de gaz	2		2	4	Contrôle des matières provenant de la PMA	Explosion
	Augmentation de pression à l'intérieur du bloc HF	Colmatage du bloc HF	Explosion	4	2	8	Augmenter la pression circulaire	3		2	6	Surveillance de la température di bloc HF	Propagation d'une onde de choc
	Refus de l'ouverture de la petite cloche	Manque de séquence (conditions)	Refroidissement du bloc HF (manque de coke) Baisse du niveau de la matière dans le bloc HF	2	3	6	Agir mécaniquement sur la petite cloche (décompression du sas) Existence d'une gamme opératoire dans ce cas	1		3	3		
	Refus de l'ouverture de la grande cloche	Défaut de compression dans le sas Existence d'une fissure Fuite dans les lignes d'équilibrage Panne électrique	Sas non étanche Déformation de la trémie de la grande cloche Usure de la grande cloche (hausse de température)	3	2	6	Ouvrir la grande cloche manuellement (forcer l'ouverture en agissant sur la puissance)	2		2	4		
	Défaillance du pressostat	Bouchage des lignes d'équilibrage	Dégradation de la fonction de la petite cloche et la grande cloche	3	3	9	Basculement vers le deuxième pressostat Forçage de l'ouverture des cloches	2	Préventif général de toute l'instrumentation de pression	2	4		
Evacuation des gaz HF	Perte de confinement	Fissure des conduites de transport des gaz	Pollution de l'environnement	3	2	6	Contrôle de pression Arrêt du HF et soudure de la percée	2		2	4		Dispersion atmosphérique UVCE
Système de refroidissement	Brûlure d'une boîte de refroidissement	Conduite d'eau bouchée (serpentin)	Explosion	4	3	12	Fausse boîtes de refroidissement en attendant de changer la boîte	2		3	6	ontrôle du débit d'eau	Propagation d'une onde de choc
	Taux H ₂ élevé	Passage de l'eau dans le bloc HF	Refroidissement rapide de la fonte (augmentation du taux de silicium) Refoulement de la fonte dans les tuyères en cas de colmatage de la fonte dans la rigole	4	2	8	Identification et élimination de la source d'eau	3		2	6	Eviter les travaux à proximité des conduites montée de gaz lors de la marche du HF	Propagation d'une onde de choc UVCE

		renversement dans le convertisseur	Dégât matériel										
	Fonte froide ou de mauvaise qualité	Sable de rigole de mauvaise qualité Pénétration de l'eau dans le bloc HF	Réduction de la durée de vie des poches et des convertisseurs des aciéries à oxygène	2	3	6		2	Contrôle systématique des boîtes de refroidissement	2	4		

Système Vent chaud

Phase opératoire/ Equipement	Evénement Redouté	Causes (Evénement initiateur)	Conséquences	Gi	Fi	Cr	Mesures de protection	Gr	Mesures de prévention	Fr	Cr	Recommandations	Phénomène Dangereux
Partie électrique	Problème au niveau de la partie électrique du moteur asynchrone	Défaut de phase Défaut de balais de charbon	Pas de démarrage de la soufflante Arrêt du bloc HF	2	2	4	Equilibrage des phases Changement des charbons des balais	1		2	2		
	Défaut au niveau de la partie électrique du moteur synchrone	Coupure d'alimentation au niveau de l'excitation => arrêt du moteur synchrone	Pas de démarrage de la soufflante Arrêt du bloc HF	2	3	6	Basculement vers le diesel	1		3	3		
Partie mécanique	Défaillance du multiplicateur	Usure de la roue dentée (mauvais alignement multiplicateur-rotor2) Usure des coussinets des paliers (mauvaise lubrification)	Augmentation de la vibration Arrêt de la soufflante	2	3	6	Changement des coussinets Changement des huiles et des filtres périodiquement (pour contrôler la qualité des huiles)	1		3	3		
Partie hydraulique (huiles de lubrification, motrices et de soulèvement)	Mauvaise qualité des huiles	Mauvais échauffement/refroidissement Mauvaise filtration : Filtre encrassé suite à la défaillance de la résistance de l'échauffement	Mauvaise régulation du débit vent Usure des accessoires mécaniques	2	3	6		2	Changement des huiles et des filtres périodiquement Nettoyage des bacs avec des huiles de rinçage	2	4		
	Fuite d'huile	Fissure des conduites Court-circuit électrique	Dégradation de la fonction de la CAV Incendie	4	2	8	Observation du niveau de l'huile	3		2	6	Visite sur site Détecteur et extinction automatique du feu	Feu de nappe
Partie compresseur	Déchirure du filtre reloomatic	Filtre très encrassé Panne de moteur du filtre reloomatic (responsable du mécanisme de rotation)	Usure mécanique des ailettes Encrassement des conduites	3	3	9	Changement du filtre Changement ou réparation du moteur Changement des ailettes chaque trois ans Nettoyage des conduites	2	Visite périodique	2	4		
Vanne anti-pompage	Problème au niveau du vérin d'ouverture et fermeture de la VAP	Fuite au niveau des conduites véhiculant l'huile motrice	Pas d'ouverture de la vanne anti-pompage en cas de retour du vent de l'HF ce qui entraîne le déclenchement de la soufflante	3	2	6	Détection des vibrations (retour du vent) qui va entraîner le déclenchement de la machine principale et démarrage automatique de la soufflante de secours	2		2	4		
Cowpers	Chute des briques réfractaires	Pression du vent	Rougisement du blindage qui va diminuer la durée de	3	3	9	Réparation des briques par des maçon-fumistes	2	Vérification du cowper par l'endoscopie	2	4		

			vie du cowper										
	Non-étanchéité des vannes	Accumulation du tartrage ou de calcaire au niveau des opercules	Fuite de gaz et mauvais fonctionnement du cowper	4	3	12		4	Traitement de la qualité de l'eau et de la vapeur	2	8	Mettre des filtres dans les conduites d'alimentation des cowpers	Explosion

Système Epuration des gaz HF

Phase opératoire/ Equipement	Evénement Redouté	Causes (Evénement initiateur)	Conséquences	Gi	Fi	Ci	Mesures de protection	Gr	Mesures de prévention	Fr	Cr	Recommandations	Phénomène Dangereux
Pot à poussière	Colmatage de la poussière au fond du pot à poussière	Gaz humidifié Taux d'hydrogène élevé	Augmentation du niveau de la poussière Pas de communication entre le pot à poussière et le reste du circuit d'épuration	2	2	4	Ouverture automatique des purges Débouchage assisté hydrauliquement de la vanne	1		2	2		
	Surpression dans le pot à poussière	Clapet de purge colmaté Ouverture bloquée	Asphyxie	4	2	8	Port des détecteurs de gaz et masques respiratoires	3		2	6	Contrôle et entretien périodique	Explosion Fuite de gaz
Laveur	Etouffement du laveur suite à une croissance rapide du niveau de l'eau	Défaillance du détecteur de niveau et/ou des cerveau-moteurs	Explosion du laveur Asphyxie	3	3	9	Ouverture des clapets de purge	2		3	6	Entretien périodique de la vanne du laveur	Onde de choc
Tube venturi + Septum valve	Défaillance du cerveau-moteur de la vanne Ø500	Surcharge sur le moteur du cerveau	Pas de régulation de la contre pression	2	3	6	Changement du moteur de cerveau	1		3	3		
Electrofiltres	Mauvaise épuration des gaz HF	Panne du transformateur 5,5 KV	Affectation des conduites et des vannes des cowpers	3	3	9	Changement du transfo	2		3	6	Mettre un filtre dans la conduite du gaz vers les cowpers	Non étanchéité des vannes
Torchère	Défaillance du cerveau moteur du papillon central	Blocage du clapet du papillon central	Augmentation de la pression du circuit fermé entre bloc HF et épuration des gaz	3	2	6	Basculement vers le cerveau moteur de réserve opérationnel	2		2	4	Entretien régulier du cerveau moteur de réserve	
	Extinction de la flamme	Présence d'eau	Pollution	4	2	8		4	Fiabilisation des mécanismes de commande	1	4		Emission des gaz UVCE

Système Eau de refroidissement

Phase opératoire/ Equipement	Evénement Redouté	Causes (Evénement initiateur)	Conséquences	Gi	Fi	Ci	Mesures de protection	Gr	Mesures de prévention	Fr	Cr	Recommandations	Phénomène Dangereux
Traitement des boues/eaux	Conduite intérieure encrassée (bouchage)	Mauvais fonctionnement de la station traitement des boues	Echauffement de l'installation Pas de circulation d'eau Arrêt du haut fourneau	2	3	6		2	Surveillance du bon fonctionnement des pompes à boues Surveillance du bon fonctionnement du filtre à vide Surveillance du bon fonctionnement des épaisseurs	2	4		
Refroidissement de l'eau	Arrêt du moteur de ventilation	Panne électrique Panne mécanique	Echauffement du moteur suite à une surcharge Mauvais alignement	2	2	4	Ajustage d'alignement	1	Respect de la fréquence de la lubrification et graissage Contrôle périodique	1	1		

			avec réducteur Mauvais graissage du réducteur										
	Endommagement des ailettes (pales)	Panne aérodynamique	Usure des ailettes entraîne un déséquilibre	2	2	4		2	Surveillance et contrôle d'équilibrage des ailettes	1	2		
Salles des pompes	Arrêt des pompes	Panne électrique	Echauffement du moteur suite à une surcharge	4	2	8	Changement du moteur et accouplement avec les pompes	3		2	6		Augmentation de la température du HF
		Panne mécanique	Mauvais alignement avec réducteur Usure du corps intérieur de la pompe				Ajustage d'alignement entre moteur et réducteur Usinage et réparation du corps de la pompe Changement ou réparation du rotor						

Système Chargement de matières

Phase opératoire/ Equipement	Evénement Redouté	Causes (Evénement initiateur)	Conséquences	Gi	Fi	Cr	Mesures de protection	Gr	Mesures de prévention	Fr	Cr	Recommandations	Phénomène Dangereux
Chargement haut	Problème au niveau des tambours des moteurs (panne mécanique)	Usure de la surface des tambours (en caoutchouc) suite aux frottements	Arrêt du transporteur	2	3	6	Changement du tambour en suivant une gamme opératoire	1		3	3		
	Déchirure de la bande de chargement (transporteur)	Blocage du galet des rouleaux Qualité de la bande Problème au niveau des tambours	Pas d'alimentation Perte de production Arrêt du haut fourneau	2	3	6		2	Contrôle périodique des rouleaux Graissage des rouleaux	2	4		
Chargement bas	Usure des tamis des cribles	Choc dû au point de chute	Déchirure du tamis	3	2	6	Changement du tamis du crible	2		2	4		
	Détachement des tôles d'usure de protection des silos	Non changement de point de chute	Percée de silo	3	2	6	Changement des tôles d'usure pendant l'arrêt de l'HF	2	Changement des points de chute de silo	1	2		
	Fuite au niveau du vérin d'étalonnage de la peseuse	Déchirure du joint entre le vérin et la partie hydraulique Centrale hydraulique non fiable	Non décollage du vérin Pas d'étalonnage de la peseuse Arrêt du HF	2	2	4	Elimination des fuites et fiabilisation d'étalonnage	1		2	2		

ANNEXE C :Tableau AMDEC

Système Bloc HF

Sous-système	Composant	Fonction Etat	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection de la défaillance	G	P	ND	C	Actions correctives
Refroidissement du bloc HF	Serpentin de la boîte de refroidissement	Passage de l'eau pour refroidir le bloc HF Plein	Défaillance structurelle	Vieillessement Corrosion	Passage de l'eau à l'intérieur du bloc HF Augmentation du taux d'hydrogène	Image thermique du bloc HF Taux d'hydrogène	6	3	2	36	Visite sur site et vérification des boîtes
Creuset	Trou de coulée	Evacuation de la fonte et du laitier Ouvert	Ne se ferme pas	Défaillance de la boucheuse	Fuite de gaz	Constatation visuelle	7	4	2	56	Réparation et entretien périodique
		Fermé	Ne s'ouvre pas	Défaillance de la perforatrice	Augmentation de la pression à l'intérieur du bloc HF Refoulement de la fonte	Mesure de la pression circulaire	6	4	2	42	Réparation et entretien périodique
	Tuyère Circulaire	Injection du vent chaud dans le bloc HF En marche	Défaillance structurelle	Percée au niveau de la circulaire Brûlure d'une tuyère	Fuite du vent chaud sous pression Perte humain Fuite de gaz Formation de garni	Détection visuelle Mesure de pression Mesure de température	8	3	3	42	Soudure Réparation Changement de tuyère
Evacuation et transport de la fonte	Rigole	Passage et séparation du laitier de la fonte	Présence d'eau	Fuite d'une conduite Fissure d'une boîte de refroidissement	Explosion lors du passage de la fonte	Pression de l'eau dans la conduite	7	4	4	112	Contrôle des conduites Chauffage du plancher
	Poche tonneau	Transport de la fonte Pleine	Fuite externe Déraillement	Percée de la poche Rails défectueux	Explosion	Détection visuelle	7	3	5	105	Entretien Contrôle des rails

Système Vent chaud

Sous-système	Composant	Fonction Etat	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection de la défaillance	G	P	ND	C	Actions correctives
Partie hydraulique de la centrale à vent	Pompe hydraulique	Pomper l'huile de lubrification, motrice et de soulèvement En marche	Blocage physique ou coincement	Mauvaise qualité d'huile	Mauvaise régulation du débit vent	Contrôle visuelle	4	3	2	24	Nettoyage régulier des filtres

			Fuite externe Fonctionnement intempestif	Fissure des conduites Pas de consignation	Usure des accessoires mécaniques Incendie Fuite de l'huile lors des travaux Incendie	Bruit des vibrations Pression d'huile Détection visuelle	5 6	3 4	3 3	45 72	Surveillance de la température d'huile Formation et suivi de la gamme opératoire
Partie compresseur de la centrale à vent	Vanne anti-pompape	Dégagement du vent vers l'atmosphère									
		Fermée	Ne s'ouvre pas	Coincement du vérin de la vanne Fuite de l'huile motrice	Défaillance de la snor valve	Mesure du débit de l'huile et du vent	6	3	2	36	Entretien périodique Nettoyage des filtres et des conduites
	Ne reste pas en position	Problème au niveau du vérin de la vanne	Débit de vent insuffisant pour le bloc HF	Affichage PC	4	4	2	32			
	Ouverture intempestive	Défaut de commande	Pas d'alimentation du bolc HF par le vent	Mesure du débit	2	4	2	16			
		Ouverte	Ne se ferme pas	Fuite de l'huile motrice Problème au niveau du verin de la vanne Fuite de l'huile motrice	Déclenchement de la soufflante						
Cowpers	Vannes des cowpers	Passage des fluides (vent et gaz de combustion) Ouverte	Fonctionnement dégradé	Blocage de l'opercule mauvais refroidissement des vannes	Vannes non-étanches fuites de gaz Explosion en cas de contact avec une flamme	Mesure de pression	7	5	4	140	
		Fermée	Ouverture intempestive	Erreur humaine	Passage du vent froid au bloc HF	Affichage PC	6	3	3	54	

Système Epuration gaz HF

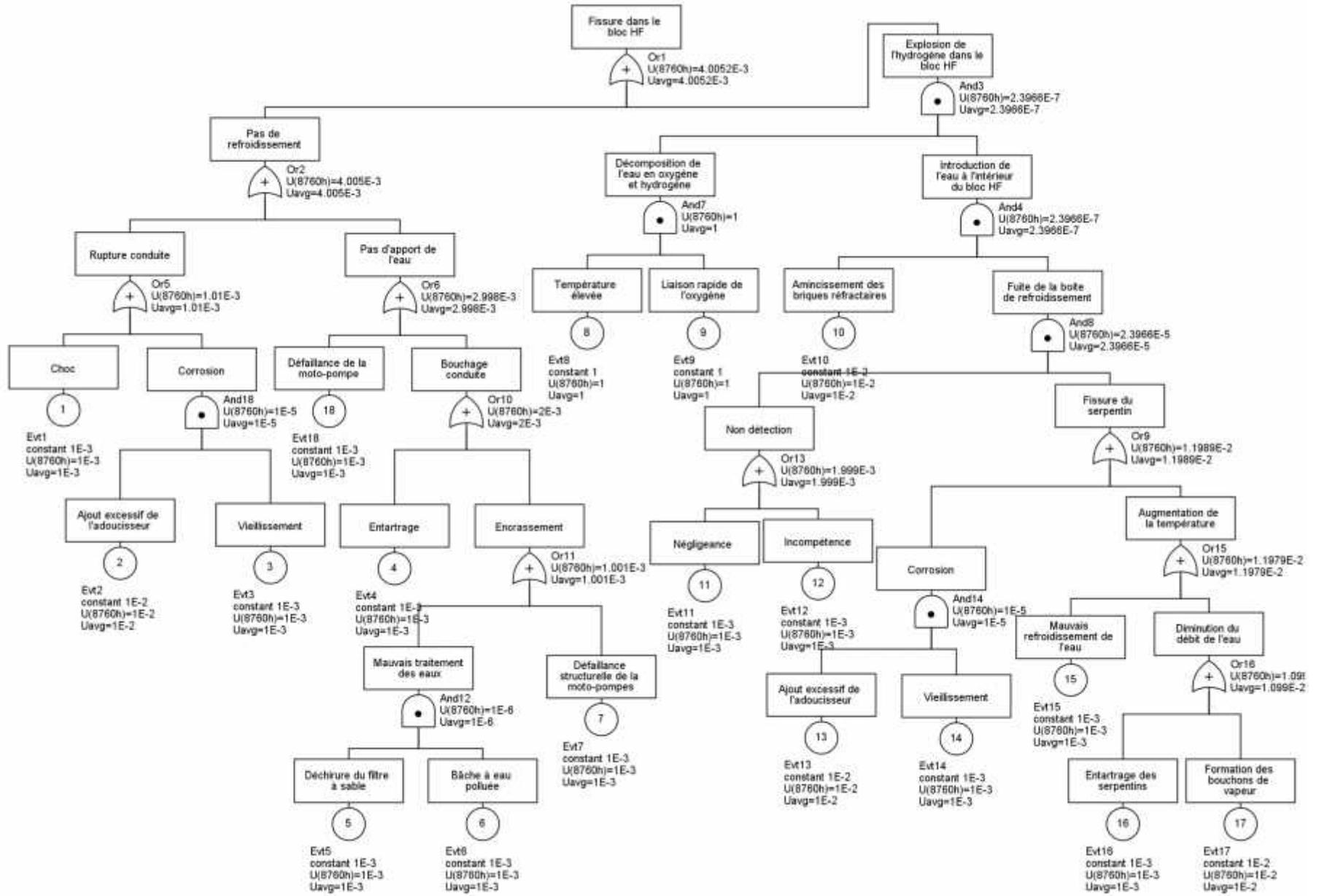
Sous-système	Composant	Fonction Etat	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection de la défaillance	G	P	ND	C	Actions correctives
Pot à poussière	vanne de purge	Vidange de la poussière cumulée au fond du pot à poussière Fermée	Ne s'ouvre pas	Colmatage de la poussière	Surpression dans le pot à poussière Fuite de gaz HF	Visuel PC	7	5	4	140	Ouverture des clapets de purge Elimination de toute source d'énergie

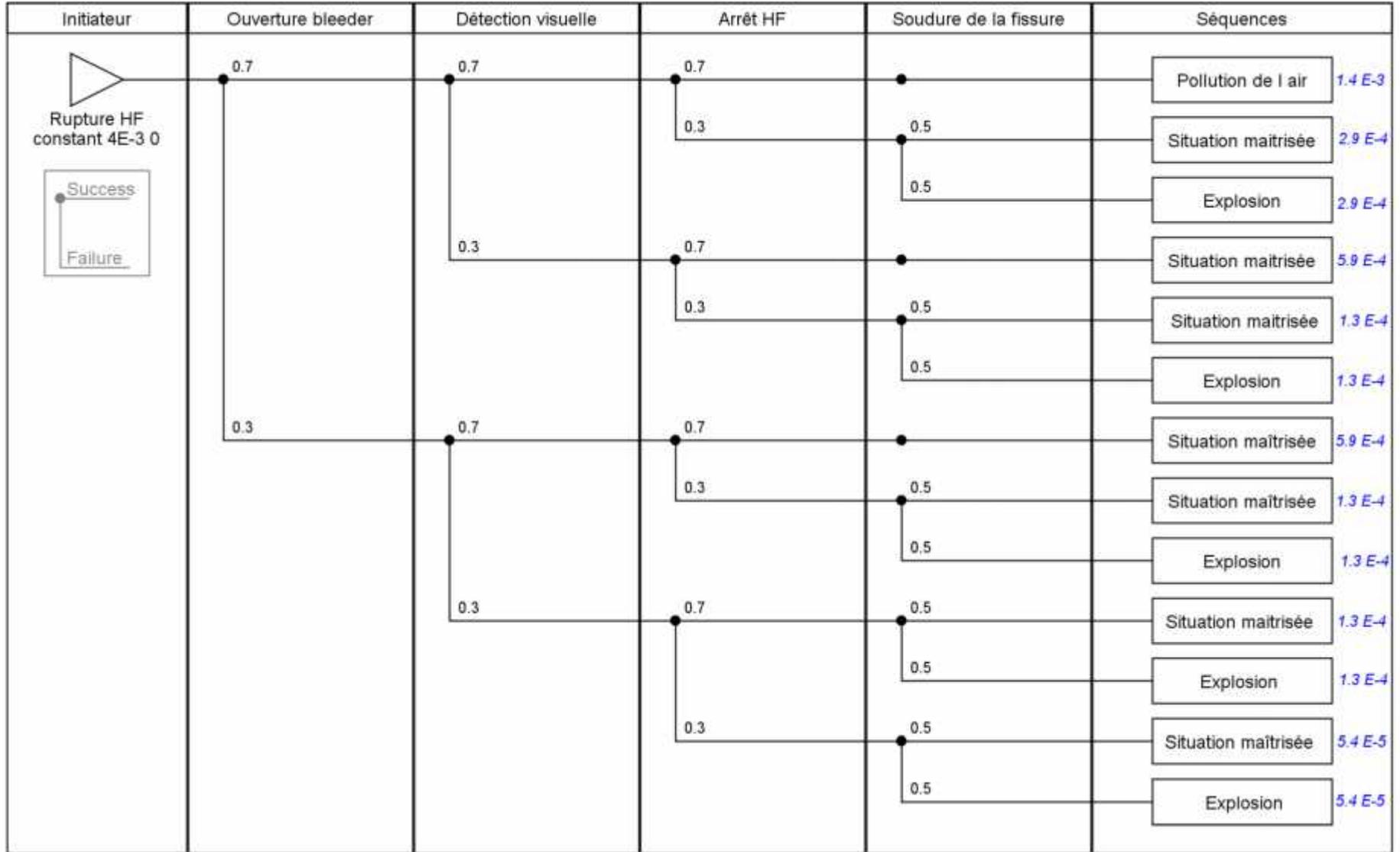
		Ouverte	Ne se ferme pas	Rupture de la vanne	Fuite de gaz HF Arrêt du bloc HF	Affichage PC	7	3	5	105	Ouverture de la cloche d'isolement
Laveur	Pulvérisateur	Pulvériser de l'eau pour faire tomber les particules de poussière En marche	Ecoulement réduit	Pas d'apport d'eau	Mauvaise épuration du gaz HF	PC	4	4	3	48	
	vanne de purge	Vidange de l'eau Fermée	Ne s'ouvre pas	Blocage/coincement Pas de détection du niveau de l'eau	Etouffement du laveur Fuite de gaz HF	Affichage PC	7	4	3	84	Ouverture des clapets de purge
Ouverte		Ne se ferme pas	Rupture de la vanne	Mauvaise épuration du gaz HF	Affichage PC	4	3	2	24		
Torchère	Flamme	Brûler les gaz Allumée	Extinction de la flamme	Présence de l'eau	Fuite de gaz HF	PC	7	3	3	63	Elimination de toute source d'énergie

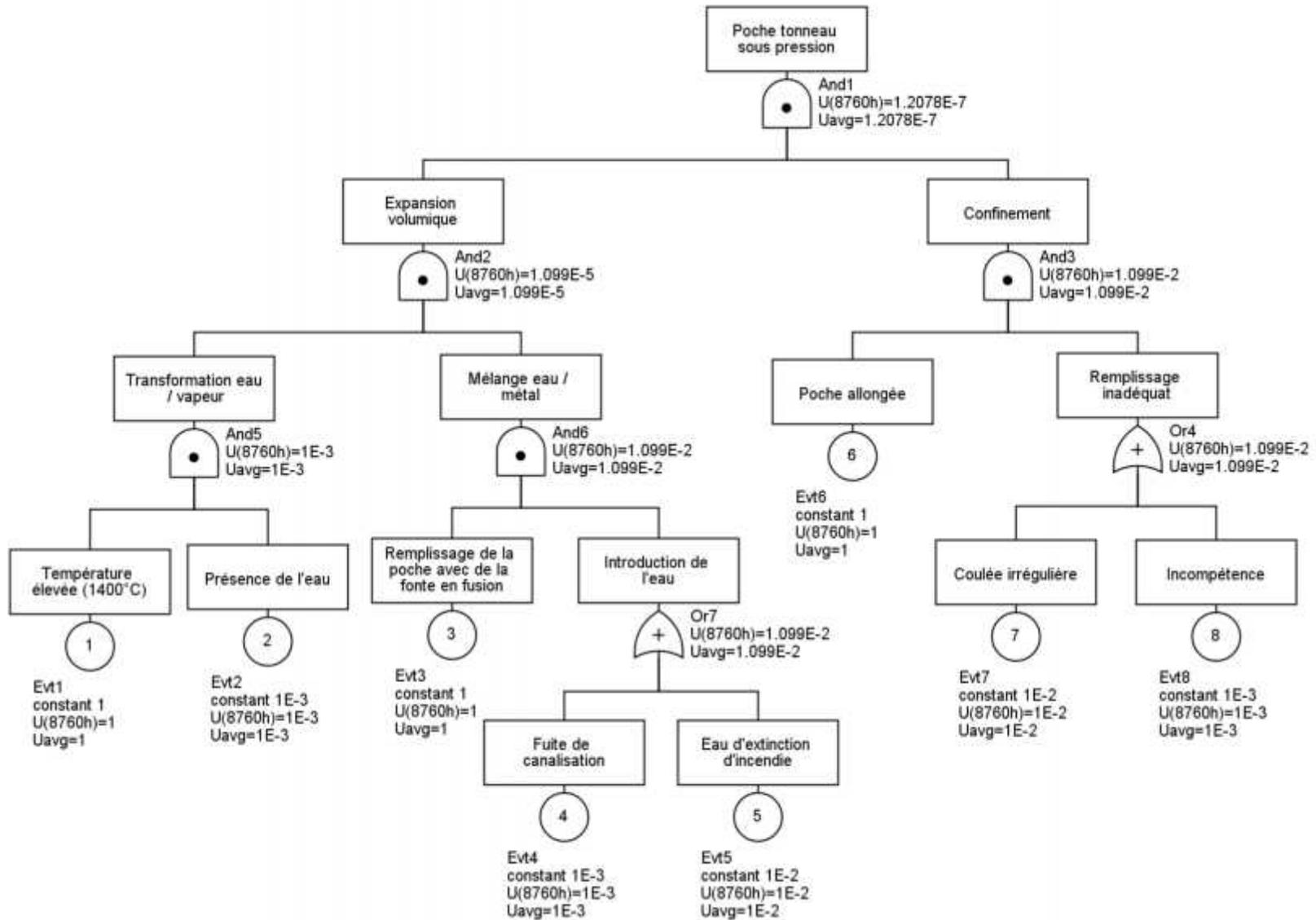
Système Eau de refroidissement

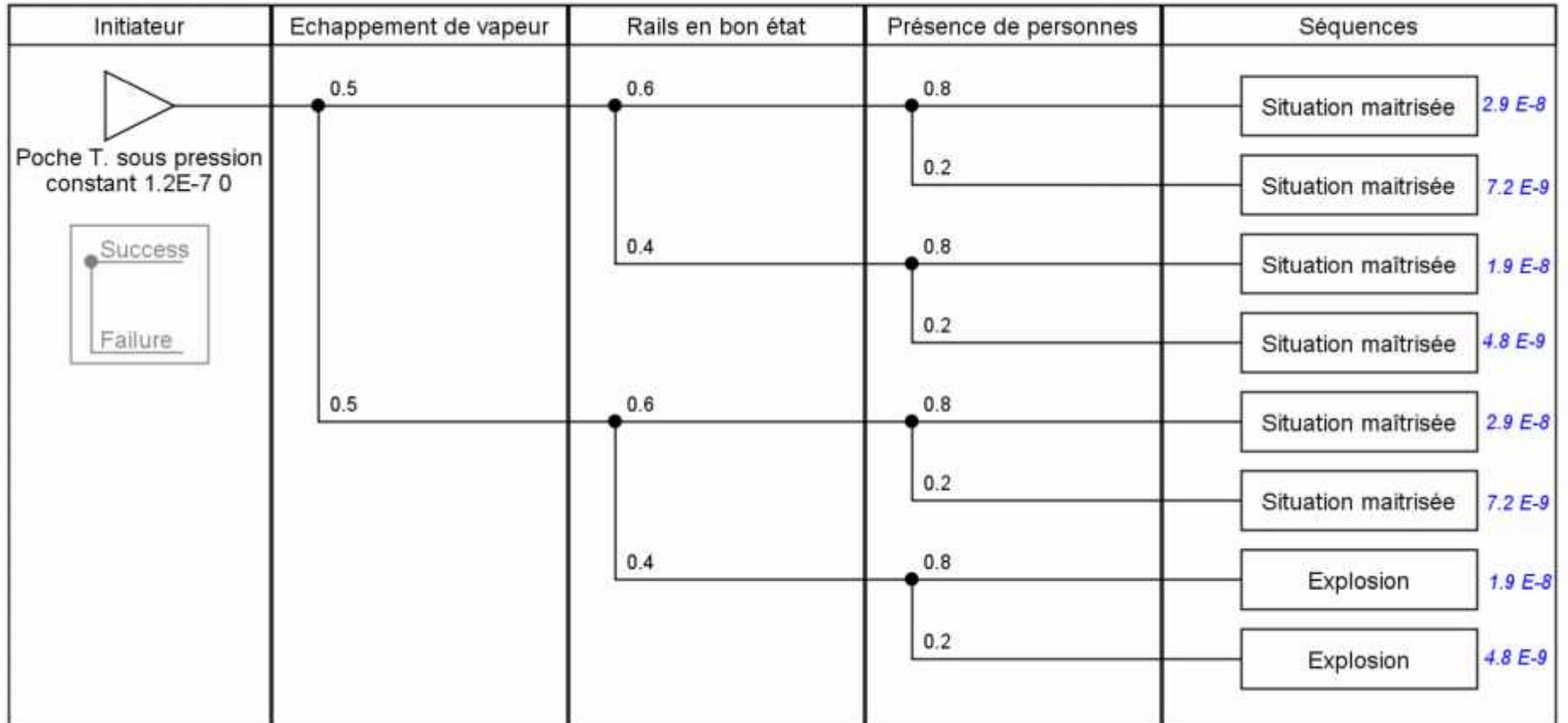
Sous-système	Composant	Fonction Etat	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection de la défaillance	G	P	ND	C	Actions correctives
Salle des pompes	Moto-pompe	Pomper de l'eau à partir des bache à eau jusqu'au bloc HF En marche	Sortie erronée (diminution)	Moto-pompe défectueuse	Mauvais refroidissement du bloc HF Formation de garni	Débit de l'eau	5	3	2	30	Entretien périodique
		En arrêt	Vibrations	Diminution du niveau de l'eau dans la bache Refoulement de l'eau	Défaillance du moto-pompe	Débit de l'eau	5	3	2	30	Basculement vers les pompes de secours Entretien du clapet anti-retour
	Conduite	Transporter l'eau entre les différents composants du système de refroidissement Pleine	Défaillance structurelle (rupture)	Corrosion Mauvaise qualité de l'eau	Diminution du débit de l'eau présence de l'eau sur le plancher et dans la poche tonneau	Débit de l'eau	7	4	2	56	Contrôle non destructif des conduites Adoucissement de l'eau

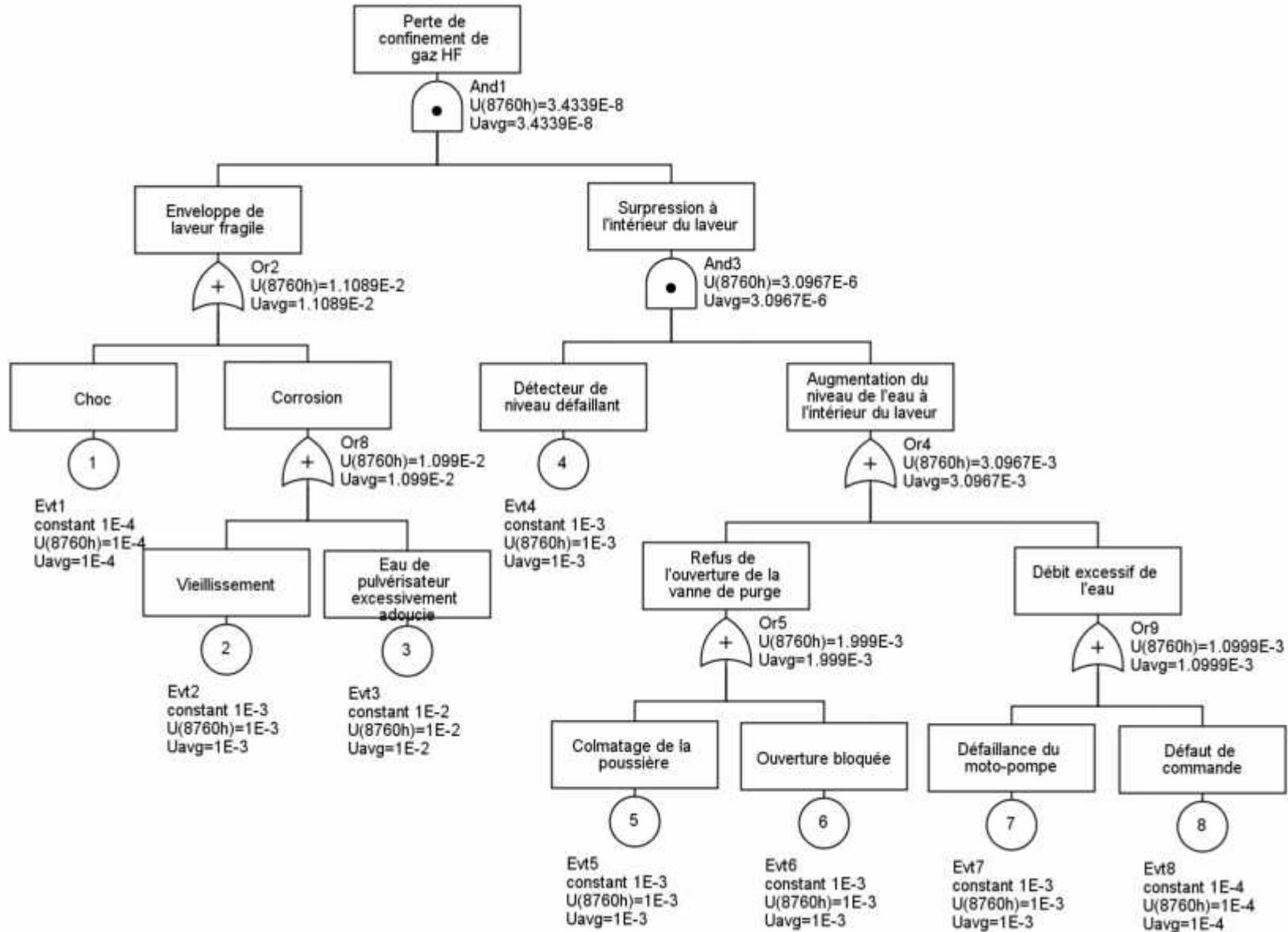
ANNEXE D : Nœuds Papillon

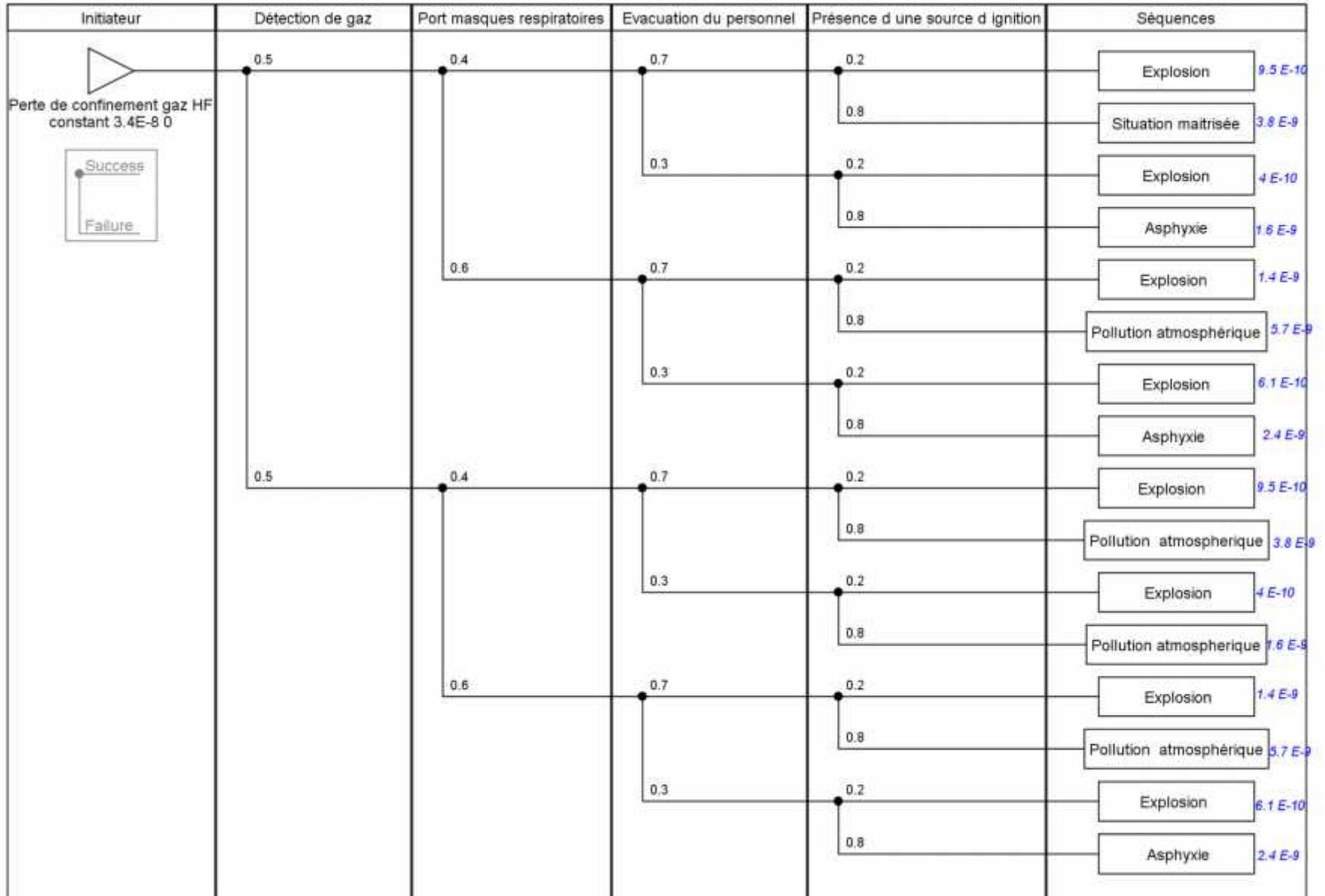


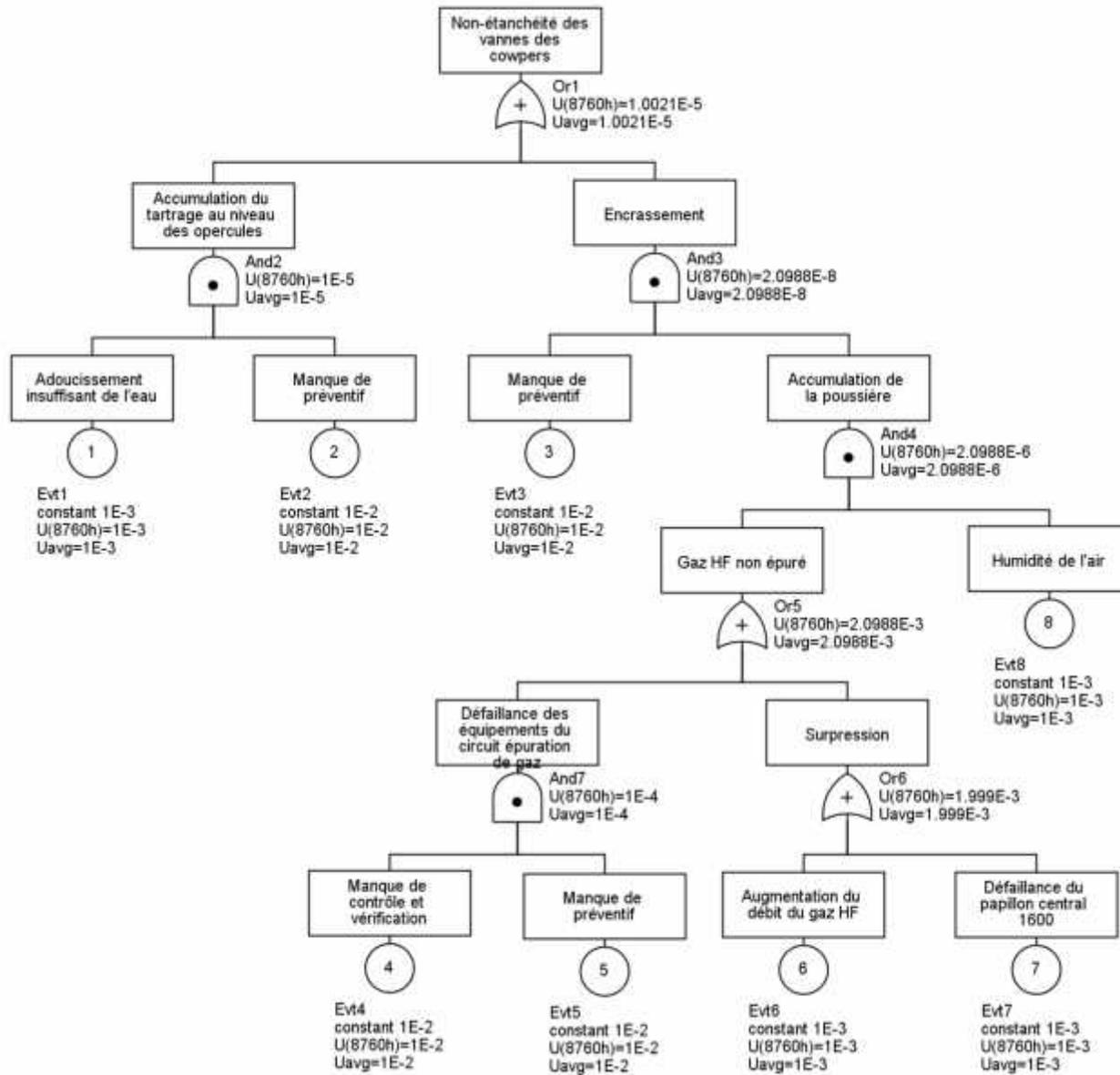


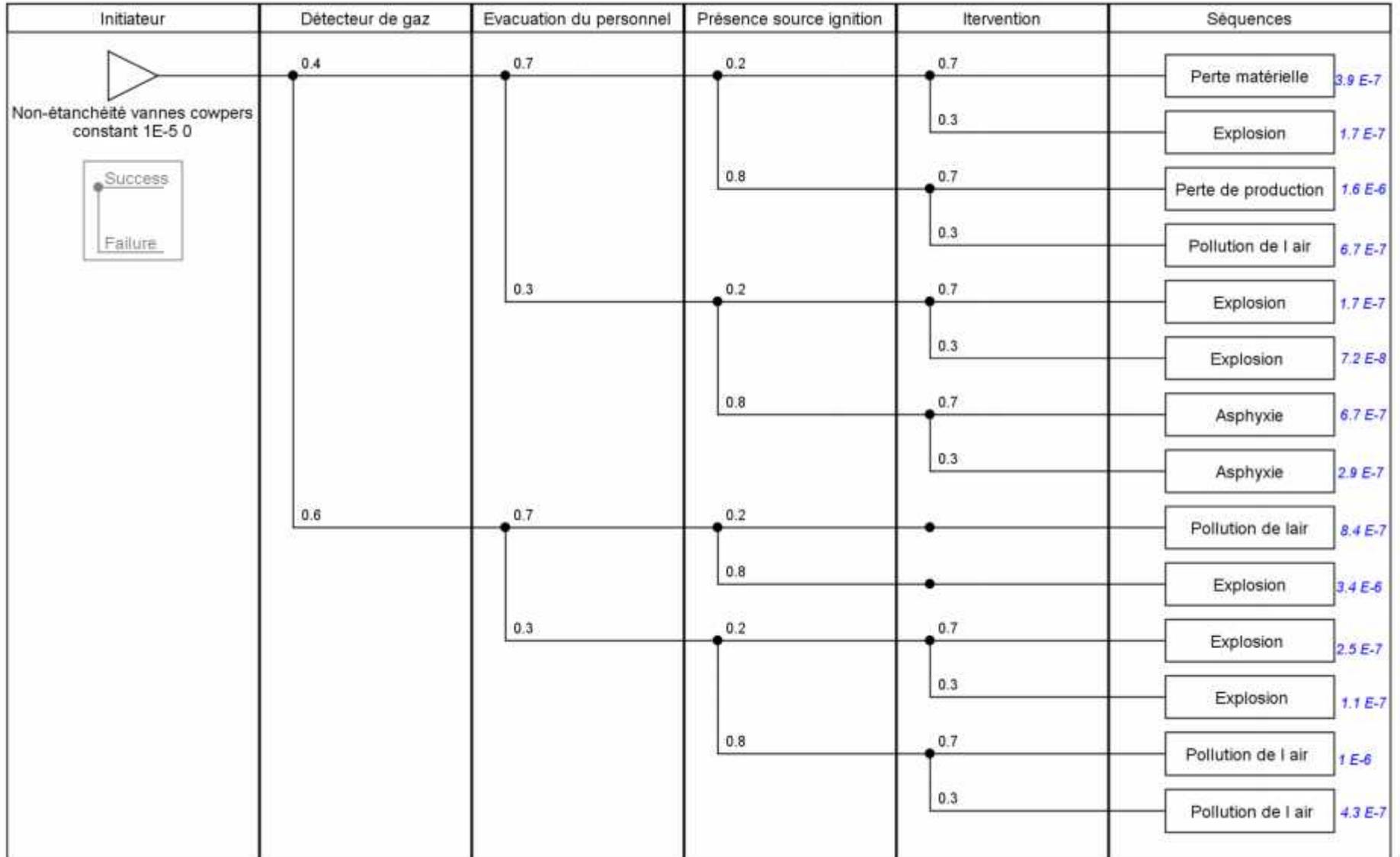


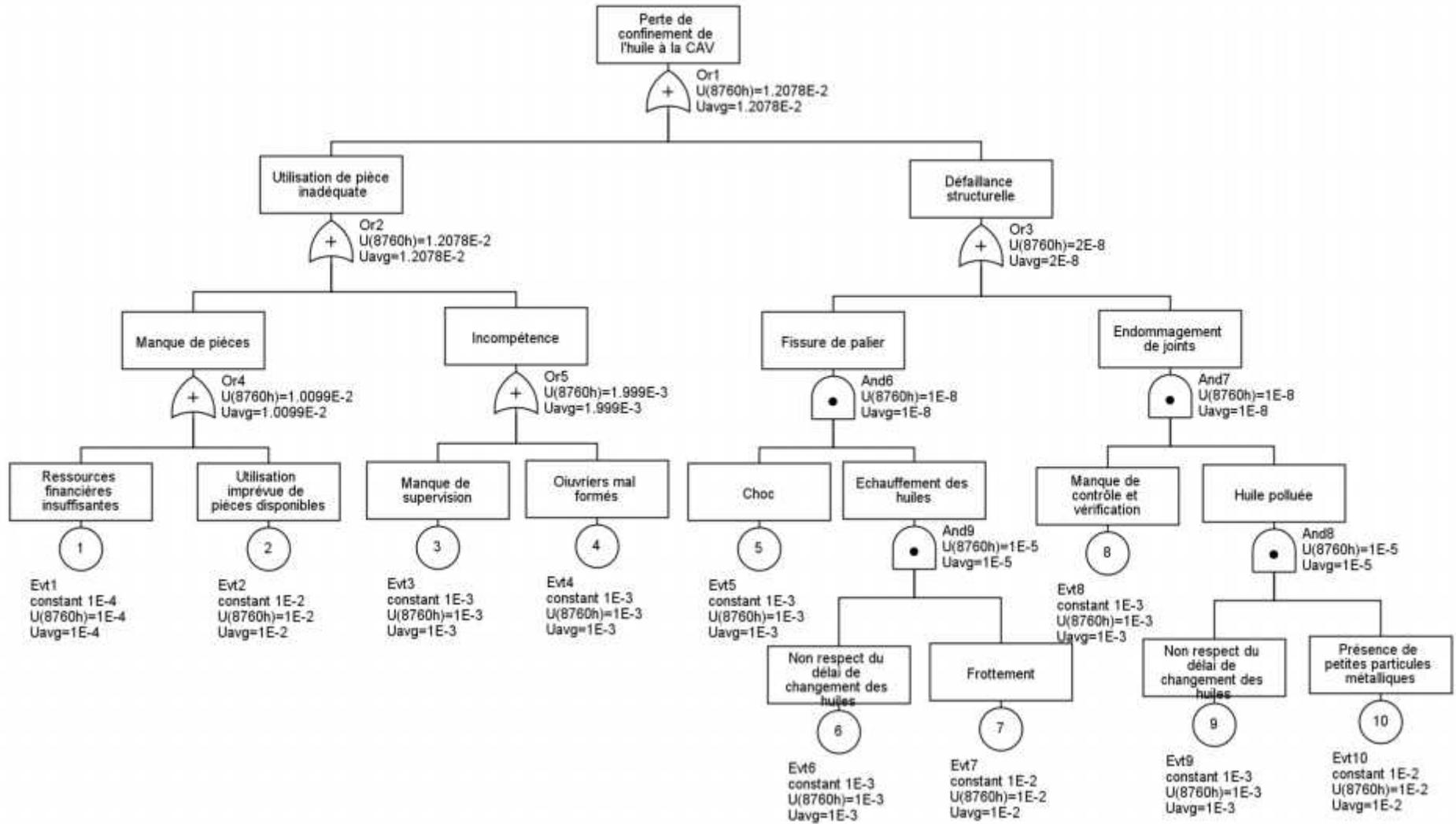






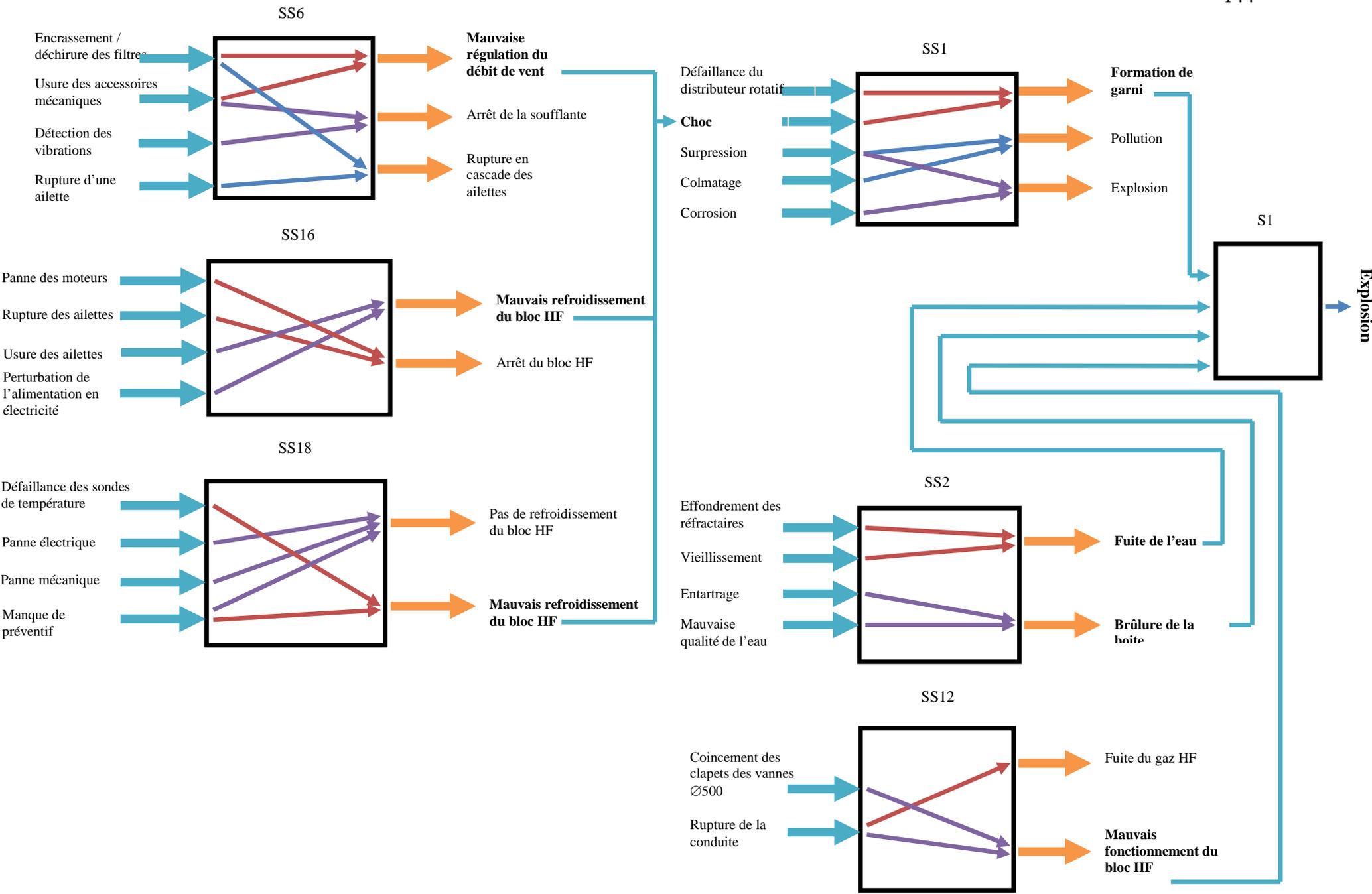


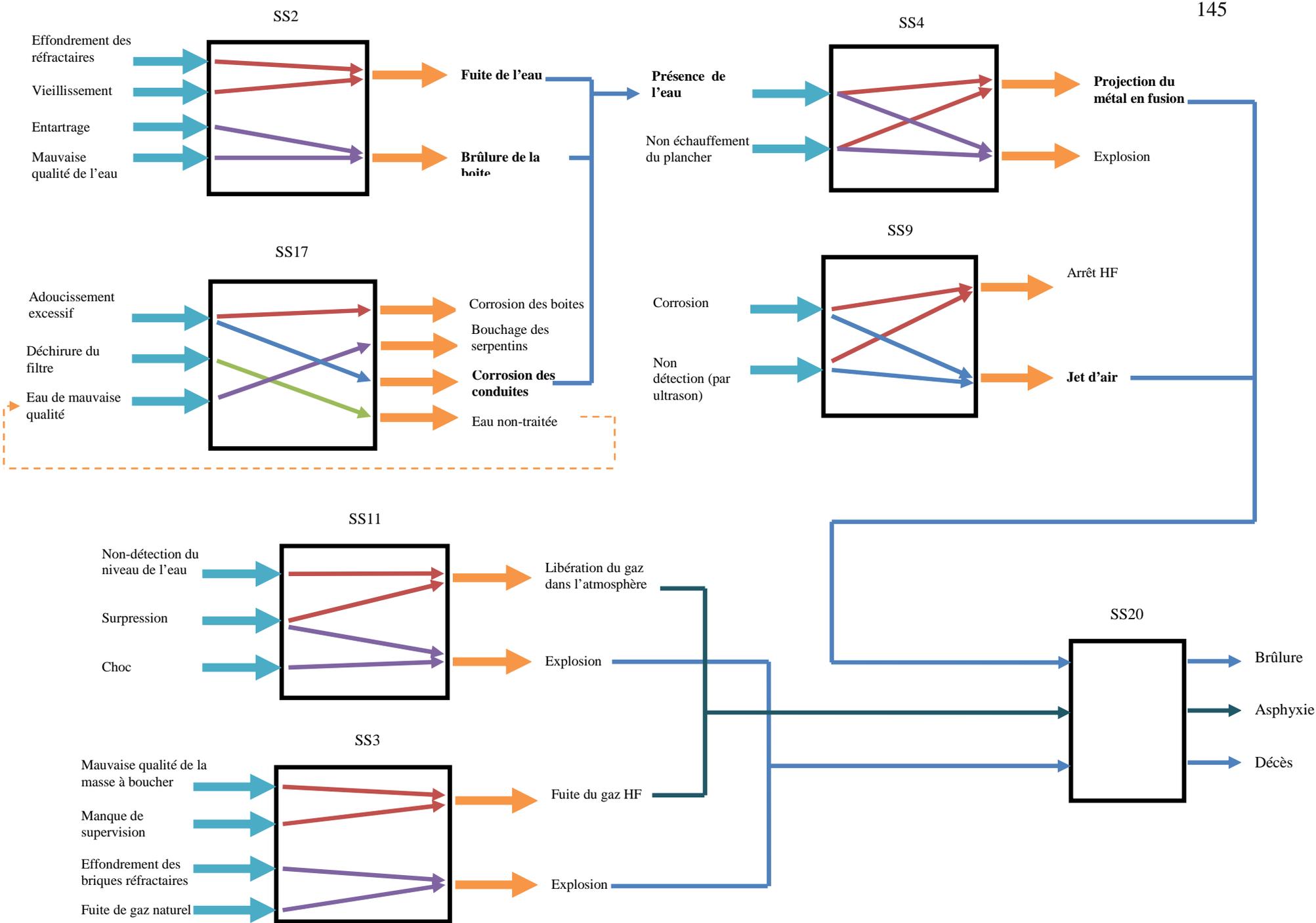




Initiateur	Intervention immédiate	Présence source ignition	Détection fumée	Extinction automatique	Séquences
Fuite de 1 huile CAV constant $3.4E-8$ 0 	0.6	•	•	•	Situation maîtrisée $2 E-8$
	0.4	0.3	0.7	0.7	Situation maîtrisée $1.9 E-9$
				0.3	Incendie $8.6 E-10$
				0.3	Situation maîtrisée $8.6 E-10$
				0.3	Incendie $3.7 E-10$
		0.7	•	•	Pollution du sol $9.5 E-9$

ANNEXE E : Schémas Scénarios Longs





ANNEXE F : Moyens prévention et protection

Scénarios	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Phase	EX	EX	EX	EX
1. Module de conception	Prévoir un groupe électrogène	Echauffement du sable des rigoles pendant une durée suffisante		
2. Module concernant le personnel	Formation à la maintenance et mode opératoire	Port des tenues aluminisées Formation sur le traitement des eaux	Sensibilisation du personnel	Sensibilisation du personnel
3. Module technique et réglementaire	Changement des huiles Nettoyage des conduites et des filtres Changement des ailettes chaque 3 ans Entretien des accessoires mécaniques pendant les arrêts du HF Etablir des procédures de réparation et d'intervention en cas de fonctionnement dégradé Insertion de fausses boîtes de refroidissement	Visite et inspection sur site Respect des distances de sécurité	Contrôle non destructif des conduites Visite périodique Inspection visuelle	Entretien des pièces mécaniques Changement des huiles Inspection visuelle Dispositif de détection des flammes
4. Module des postes de travail				
5. Module concernant le champ spécifique et l'environnement	IN	IN	IN	IN
Scénarios	Scénario 5	Scénario 6	Scénario 7	Scénario 8
Phase	EX	EX	EX	EX
1. Module de		Utilisation d'une		

conception		masse à boucher de bonne qualité		
2. Module concernant le personnel	Formation pour l'exécution des procédures	Port des masques respiratoires et détecteurs de gaz Sensibilisation et formation au bouchage et débouchage du trou de coulée	Formation à la détection de l'extinction du brûleur	Port des détecteurs de gaz Formation à l'épuration des gaz
3. Module technique et réglementaire	Programme de maintenance des détecteurs de niveau et des accessoires mécaniques Elaboration des procédures de réparation	Contrôle et surveillance de l'état des parois, trou de coulée, perforatrice et boucheuse	Détection automatique des gaz Fiabilisation des mécanismes de commande	Entretien des événements et des clapets des vannes Contrôle périodique de l'état de l'installation
4. Module des postes de travail				
5. Module concernant le champ spécifique et l'environnement	IN	IN	IN	IN

ANNEXE G : Abaque tnt tms-1300

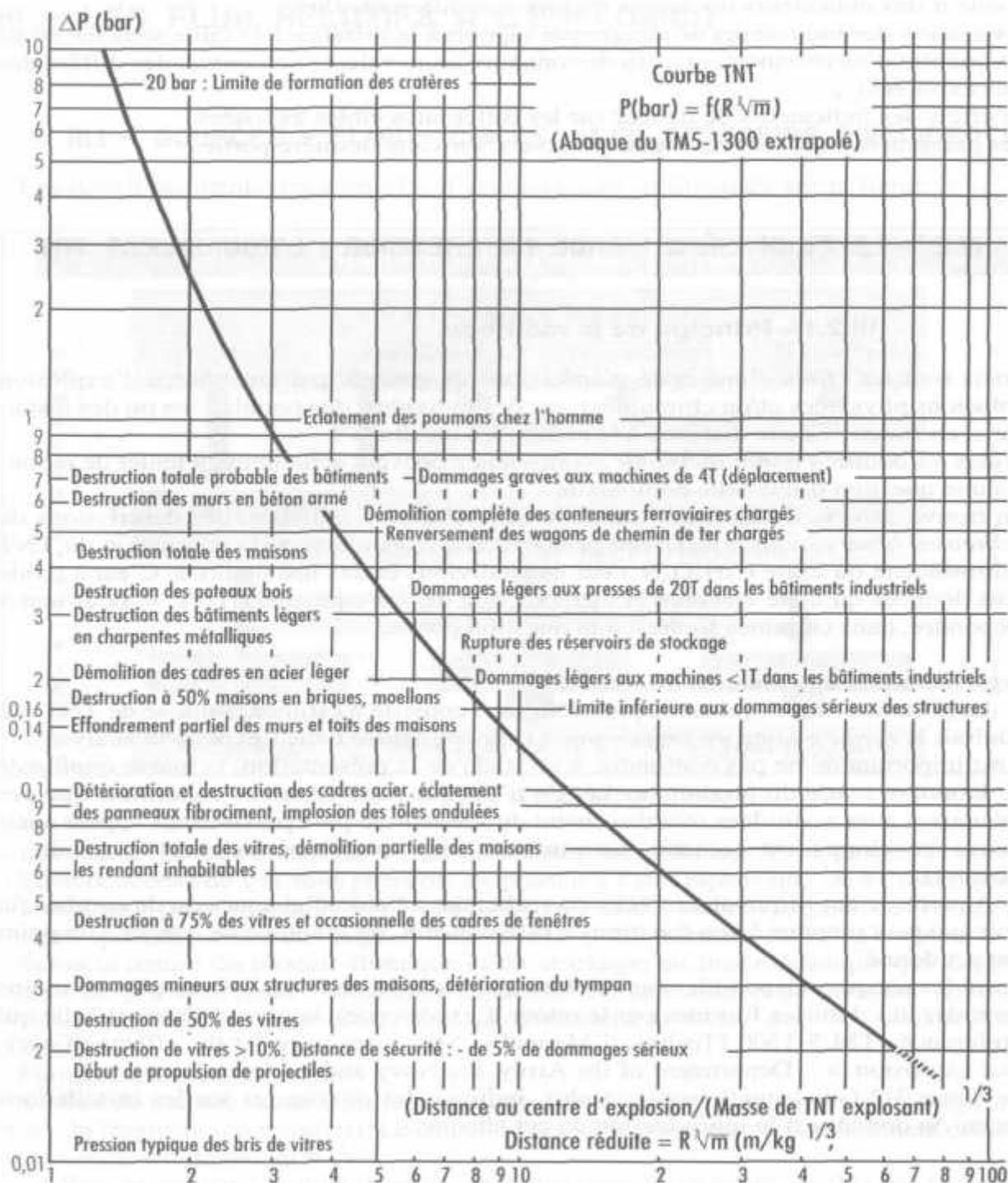


Figure 3-2 - Abaque TMS- 1300