

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR BATNA

INSTITUT D'HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE

LABORATOIRE DE RECHERCHE EN PRÉVENTION INDUSTRIELLE (LRPI)



## MÉMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

### MAGISTER

EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE

OPTION : GESTION DES RISQUES

PAR

**Oussama BOUTELIS**

INGÉNIEUR D'ÉTAT EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE

# Etude de l'applicabilité de la méthode BORA (Barrier and Operational Risk Analysis) dans le contexte de l'industrie pétrolière algérienne

Soutenu le 10 Mai 2015 devant le jury d'examen

**M. Rachid SMAIL**

**M. Rachid NAIT-SAID**

**M. Mourad KORICHI**

**M<sup>me</sup>. Nouara OUAZRAOUI**

**M. Mouloud BOURARACHE**

Maître de Conférences A à l'Université de Batna,

Professeur à l'Université de Batna,

Maître de Conférences A à l'Université de Ouargla

Maître de Conférences B à l'Université de Batna,

Maître assistant A à l'Université de Batna,

**Président**

**Rapporteur**

**Examineur**

**Membre invité**

**Membre invité**

2015

*It's good to take risks,  
if you manage them well!*

## Remerciements

---

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI) de l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle - Université de Batna.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et toute ma gratitude à M. Rachid Nait-Said, Professeur à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle de l'Université Hadj Lakhdar de Batna, d'avoir accepté de diriger ce travail, de m'avoir fait découvrir ce sujet, pour son aide inestimable et son soutien permanent, afin de finaliser ce mémoire.

Mes remerciements et l'expression de ma profonde gratitude vont aussi à Monsieur Mouloud BOURARACHE, Maître assistant A à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle, d'avoir accepté de codiriger ce travail et pour l'aide qu'il m'a apporté dans mes travaux et le temps qu'il m'a consacré, tout en me faisant profiter de sa culture et de sa rigueur scientifique.

Je tiens à remercier Monsieur Rachid SMAÏL, Maître de conférences A à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle, pour avoir accepté d'être président du jury de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à Madame Nouara OUAZRAOUI, Maître de conférences B à l'Université de Batna, et à Monsieur Mourad KORICHI, Maître de Conférences A à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Il me reste à remercier toutes les personnes m'ayant - directement ou indirectement, scientifiquement et/ou moralement - aidé et encouragé pendant la réalisation de ce mémoire.

*A mes parents...*

*A toute ma famille ...*

*A ceux qui m'aiment...*

*A ceux que j'aime...*

*... Oussama*

## Table des matières

---

Remerciements.....	I
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VII
Introduction générale.....	IX

### **Chapitre I : Barrières de sécurité : définitions, classifications et critères de performance**

I.1. Introduction.....	1
I.2. Concepts et définitions.....	3
I.2.1. Barrière de sécurité.....	3
I.2.2. Fonction de barrière et fonction de sécurité.....	4
I.2.3. Système de barrière.....	5
I.3. Classification des barrières de sécurité.....	5
I.3.1. Classification des fonctions de barrières.....	5
I.3.2. Autres classifications.....	8
I.3.3. Classification des systèmes de barrières.....	9
I.4. Les critères de performance des barrières de sécurité.....	11
I.5. Critères de performance recommandée.....	12
I.6. Conclusion.....	13
I.7. Références bibliographiques.....	14

### **Chapitre II : Description de la méthodologie BORA**

II.1. Introduction.....	18
II.2. Aperçu de la méthodologie BORA.....	18
II.3. Les principales étapes d'une analyse BORA.....	20
II.3.1. L'identification du système.....	20
II.3.2. L'identification des événements initiateurs liés à ses tâches.....	21
II.3.3. Affectation des fréquences génériques pour chaque événement initiateur.....	21
II.3.4. L'identification des barrières et le développement de diagramme block barrière.....	23
II.3.5. Modélisation de la performance des barrières de sécurité.....	24

II.3.6. Affectation des probabilités des évènements de bases générique.....	25
II.3.7. Calcul de la fréquence de la conséquence indésirable basée sur des probabilités des évènements de bases générique .....	25
II.3.8. Identification des RIF (Risk Influencing Factors).....	26
II.3.9. Affectation des poids et des scores de RIF .....	28
II.3.10. Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes.....	30
II.3.11. Recalcul du risque.....	24
II.4. Conclusion et recommandations .....	32
II.5. Références bibliographiques.....	33

### **Chapitre III : Application de la méthodologie BORA à un système opérationnel**

III.1. Introduction .....	35
III.2. Application de la méthodologie BORA au four 06-H321A .....	35
III.2.1. Collecte des informations pertinentes.....	35
A. Système d'huile chaude.....	35
B. Données techniques sur le système analysé .....	36
C. Description du four .....	37
D. Données physico-chimique de l'huile utilisée .....	43
III.3. Identification du système.....	43
III.3.1. Objectifs .....	43
III.3.2. Modèles.....	44
III.4. Identification des évènements initiateurs liés à ses tâches .....	47
III.5. Estimation des fréquences des évènements initiateurs .....	54
III.6. Identification des barrières et le développement de diagrammes block barrière .....	54
III.7. Scénario A : Incendie au four 06H321-A.....	55
III.7.1. Développement de diagramme block barrière et arbres de défaillance.....	55
III.7.2. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières A1, A2, A3, A4 (Pave).....	59
III.7.3. Calcul de la fréquence moyenne <i>Fave</i> (A) de conséquence du scénario A.....	59
III.7.4. Diagrammes d'influence des évènements initiateur et de base du scénario A.....	59
III.7.5. Evaluation des poids W et des scores Q des RIF pour le scénario A.....	63
III.7.6. Réajustement de la fréquence moyenne de l'évènement de base A0, et les probabilités moyennes de défaillance des barrières A1, A2, A3, A4.....	69
III.7.7. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario.....	73
III.7.8. Commentaires sur les résultats obtenus.....	73
III.8. Scénario B : Explosion du four.....	74

III.8.1. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières B1, B2, B3, B4 ( <i>Pave</i> ).....	79
III.8.2. Calcul de la fréquence générique <i>Fave</i> (B) de conséquence du scénario B.....	79
III.8.3. Diagrammes d'influence des évènements initiateurs et de base du scénario B.....	79
III.8.4. Evaluation des poids W et des scores Q des RIF pour le scénario B.....	81
III.8.5. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario B.....	85
III.8.6. Commentaires sur les résultats obtenus.....	85
III.9. Scénario C : boule de feu.....	86
III.9.1. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières C1.....	88
III.9.2. Calcul de la fréquence générique <i>Fave</i> (C) de conséquence du scénario C.....	88
III.9.3. Evaluation des poids W et des scores Q des RIF pour le scénario C.....	90
III.9.4. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario C.....	91
III.9.5. Commentaires sur les résultats obtenus.....	91
III.10. Interprétation des résultats et recommandations.....	93
III.11. Conclusion.....	94
III.12. Références bibliographiques.....	95
Conclusion générale .....	

- Figure I.1 – Modèle d'énergie
- Figure I.2 – Modèle de séquence d'accident
- Figure I.3 – Fonctions de sécurité générique liée à un modèle de processus
- Figure I.4 – Classification des systèmes de sécurité
- Figure II.1 – Illustration du modèle de risque générique
- Figure II.2 – Illustration d'un diagramme block barrière
- Figure II.3 – performance du système de barrière par L'AdD
- Figure II.4 – Exemple du diagramme d'influence du risque
- Figure II.5 – Les valeurs de  $Q_i$  en fonction de différentes valeurs de  $P_{low}$  et  $P_{high}$
- Figure III.1 – Four de chauffe d'huile 06-H321-A
- Figure III.2 – P&ID 21406 de Four de chauffer d'huile 06-H321-A (circuit d'huile)
- Figure III.3 – P&ID 0611 de Four de chauffer d'huile 06-H321-A (circuit de gaz)
- Figure III.4 – Actigramme de four 06-H321A
- Figure III.5 – Datagramme de Four 06-H321A
- Figure III.6 – Système de chauffe d'huile
- Figure III.7 – Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident A.
- Figure III.8 – Arbre de défaillance de la barrière A1
- Figure III.9 – Arbre de défaillance de la barrière A2
- Figure III.10 – Arbre de défaillance de la barrière A3
- Figure III.11 – Arbre de défaillance de la barrière A4
- Figure III.12 – diagramme d'influence de l'évènement initiateur A0
- Figure III.13 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A11
- Figure III.14 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A12
- Figure III.15 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A13
- Figure III.16 – Diagramme d'influence des évènements de base A14 et A15
- Figure III.17 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A21
- Figure III.18 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A22
- Figure III.19 – Diagramme d'influence de l'évènement de base A23
- Figure III.20 – Scénario A – Résumé de résultats
- Figure III.21 – Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident B.
- Figure III.22 – Arbre de défaillance pour la barrière B1
- Figure III.23 – Arbre de défaillance pour la barrière B2
- Figure III.24 – Arbre de défaillance pour la barrière B3
- Figure III.25 – Arbre de défaillance pour la barrière B4



Figure III.26– Diagramme d’influence pour l’évènement initiateur B0  
Figure III.27– Diagramme d’influence de l’évènement de base B11  
Figure III.28– Diagramme d’influence de l’évènement de base B12  
Figure III.29– Diagramme d’influence de l’évènement de base B13  
Figure III.30– Scénario B – Résumé des résultats  
Figure III.31– Diagramme Block Barrière relatif au scénario d’accident C  
Figure III.32– Arbre de défaillance pour la barrière C1  
Figure III.33– Diagramme d’influence de l’évènement initiateur C0  
Figure III.34– Diagramme d’influence de l’évènement de base C11  
Figure III.35– Diagramme d’influence des évènements de base C12, C13  
Figure III.36– Scénario C – Résumé de résultats  
Figure III.37– Fréquences moyennes et révisées du scénario A  
Figure III.38– Fréquences moyennes et révisées du scénario B  
Figure III.39– Fréquences moyennes et révisées du scénario C

- Tableau I.1– Différentes classifications des barrières que physique ou non physique.
- Tableau II.1– Description des facteurs d'influence de risques
- Tableau II.2– Exemple sur la pondération par la normalisation
- Tableau II.3– Système générique pour le score des RIF
- Tableau III.1– les données physico-chimiques d'huile utilisée
- Tableau III.2– évènements initiateurs retenus
- Tableau III.3– Application de la méthode HAZOP : Cas du paramètre Débit
- Tableau III.4– Fréquences des évènements initiateurs
- Tableau III.5– Taux de défaillance des composants des systèmes barrières
- Tableau III.6– Description du scénario A
- Tableau III.7– Classification des RIFs
- Tableau III.8– Exemple de calcul du poids des RIF (évènement initiateur A0)
- Tableau III.9– Échelle proposée d'évaluation du statut des RIF
- Tableau III.10– Scénario A- Les données, poids, scores, et les données révisées
- Tableau III.11– Scénario A - Résumé de résultats
- Tableau III.12– Description du scénario B
- Tableau III.13– Scénario B - Les données, poids, scores, et les données révisées
- Tableau III.14– Scénario B - Résumé des résultats
- Tableau III.15– Description du scénario C
- Tableau III.16– Scénario C - Les données, poids, scores, et les données révisées
- Tableau III.17– Scénario C - Résumé de résultats
- Tableau III.18– Fréquences de conséquences moyennes et révisées de différents scénarios

## Liste des acronymes et abréviations

---

<b>AdD</b>	Arbre de Défaillance
<b>ARAMIS</b>	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries
<b>BORA</b>	Barrier and Operational Risk Analysis
<b>DBB</b>	Digramme Block Barrière
<b>DCC</b>	Défaillance de Cause Commune
<b>ESD</b>	Emergency Shutdown
<b>HAZOP</b>	Hazard and OPerability Study
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>MORT</b>	Management Oversight and Risk Tree
<b>MTO</b>	Man, Technology and Organization
<b>OARU</b>	Occupational Accident Research Unit
<b>OREDA</b>	Offshore Reliability Data
<b>P&amp;ID</b>	Piping & Instrument Diagram
<b>PFD</b>	Probability of Failure in Demand
<b>PSA</b>	Petroleum Safety Authority
<b>PSV</b>	Process Shutdown
<b>QRA</b>	Quatitative Risk Assessment
<b>REX</b>	Retour d'Expérience
<b>RIF</b>	Risk Influencing Factors
<b>SIL</b>	Safety Integrity Level
<b>SIS</b>	Système Instrumenté de Sécurité
<b>THERP</b>	Technique for Human Error Rate Prediction

### 1. Problématique

L'objectif d'une analyse de sécurité est de s'assurer que les risques pouvant porter atteintes aux personnes, aux systèmes et à l'environnement sont suffisamment réduits en utilisant les différents moyens de prévention et de protection.

L'approche « barrière de sécurité » pour la maîtrise des risques est née du fait que les modèles mathématiques très performants ne sont pas adaptés pour l'analyse des systèmes avec des conditions opérationnelles de fonctionnement et d'exploitation variables et variées et pour lesquels les données statistiques moyennes ne sont pas satisfaisantes.

La méthodologie BORA (Barrier and Operational Risk Analysis) développée à l'Université Norvégienne de Sciences et Technologies (NTNU) est venue pour répondre à un tel problème. Partant d'une analyse des activités et des équipements, elle consiste en une identification des événements initiateurs et une analyse des conséquences avec une prise en compte des conditions spécifiques des installations, des procédures et des opérateurs sous l'acronyme RIF (Risk Influencing Factors).

Des méthodes telles que le diagramme bloc barrières (DBB) et l'arbre de défaillance AdD sont intégrées dans la méthodologie BORA pour l'identification et l'analyse de la performance des barrières de sécurité existantes.

### 2. Objectif

L'objectif essentiel de ce mémoire est l'étude de l'applicabilité qualitative et quantitative de la méthode BORA à un procédé industriel de traitement de gaz : faisabilité et difficultés.

### 3. Organisation du mémoire :

Le présent mémoire est subdivisé en deux parties :

1- Une partie théorique comportant deux chapitres :

L'objectif du premier chapitre est de présenter les différents concepts et

définitions relatifs aux barrières de sécurité et à leurs fonctions de barrière et de sécurité. Puis on présente la classification des barrières de sécurité et les systèmes de barrières ; étant donné que cette classification aura une grande importance dans notre partie expérimentale, pour finir par des explications des critères de performance des barrières de sécurité.

Le deuxième chapitre est dédié à la description de la méthodologie BORA, on commence par présenter en détails la méthodologie en expliquant sa philosophie, son principe et ses étapes.

Les étapes principales sont :

- Identification du système
- Identification des événements initiateurs
- Affectation des fréquences génériques pour chaque événement initiateur
- Modélisation de la performance des barrières de sécurité
- Affectation des probabilités des événements de bases générique
- Calcul la fréquence de la conséquence indésirable basée sur des probabilités des événements de bases générique
- Identification des RIF (Risk Influencing Factors)
- Affectation des poids et des scores de RIF
- Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes

Et on finit ce chapitre par des recommandations.

2- Une partie expérimentale comportant le troisième chapitre, présentant l'application de la méthodologie BORA à un système opérationnel (four de chauffe d'huile 06-H321A), dans un premier temps on passe par une collecte de données, après on passe à l'application de la méthodologie BORA sur ce système en suivant les étapes mentionnées au deuxième chapitre, nous avons choisi trois scénarios pour sortir par des résultats qui confirment l'utilité de cette méthode.

Ce travail de mémoire sera clôturé par une conclusion générale qui donne une synthèse du travail effectué et les principaux résultats obtenus ainsi que les avantages, les limites de la méthodologie BORA et les perspectives envisagées.

Barrières de sécurité :  
Définitions,  
classifications et  
critères de  
performance

# CHAPITRE I

### I.1. Introduction

Les barrières de sécurité ont été utilisées pour protéger les êtres humains, la propriété contre les ennemis et les dangers naturels depuis leur origine. Lorsque les risques d'origine humaine ont été créés en raison de l'industrialisation, les barrières de sécurité ont été mises en œuvre pour prévenir les accidents causés par ces risques. Le concept de barrières de sécurité est souvent lié à un modèle d'accident appelé le modèle de l'énergie (voir Figure I.1). Gibson a lancé le développement du modèle de l'énergie [1], tandis que Haddon a développé le modèle en outre qu'il présentait ses dix stratégies pour la prévention des accidents [2].

Les barrières de sécurité jouent également un rôle important dans le management de la surveillance et le concept de l'arbre de défaillance [3]. Au cours des dernières années, une perspective élargie sur les barrières de sécurité a évolué. Cela est souligné par Hollnagel qui stipule qu'alors que les barrières utilisées pour défendre un château médiéval étaient pour la plupart de nature physique, le principe moderne de la défense en profondeur combine différents types des barrières de protection [4].

Cette évolution est également soutenue par Fleming et Silady qui stipule que les définitions des défenses en profondeur ont évolué à partir d'un ensemble de stratégies à appliquer en plusieurs lignes de défense et de piliers, stratégies et tactiques pour protéger la santé et la sécurité publique [5]. L'accent mis sur l'utilisation des principes de risque et des barrières de sécurité de la réglementation européenne, telle que la directive Seveso II [6] et la directive sur les machines [7], la réglementation nationale ainsi que le règlement de gestion de l'Autorité de la Norvège Petroleum Safety (PSA) [8], et des normes telles que IEC : 61508 [9], de l'IEC : 61511 [10], et ISO : 13702 [11] démontrent l'importance des barrières de sécurité dans la réduction des risques et accidents.

PSA a développé les exigences des barrières de sécurité, mais elle n'a pas donné une définition claire de la notion. Plusieurs discussions ont été entreprises sur ce qui est une barrière de sécurité.

Les spécialistes ne sont pas entièrement d'accord sur cette question et il est difficile pour les entreprises de savoir comment répondre aux exigences. Il est

également difficile pour PSA de gérer les règlements sans une claire définition et une délimitation de la notion.

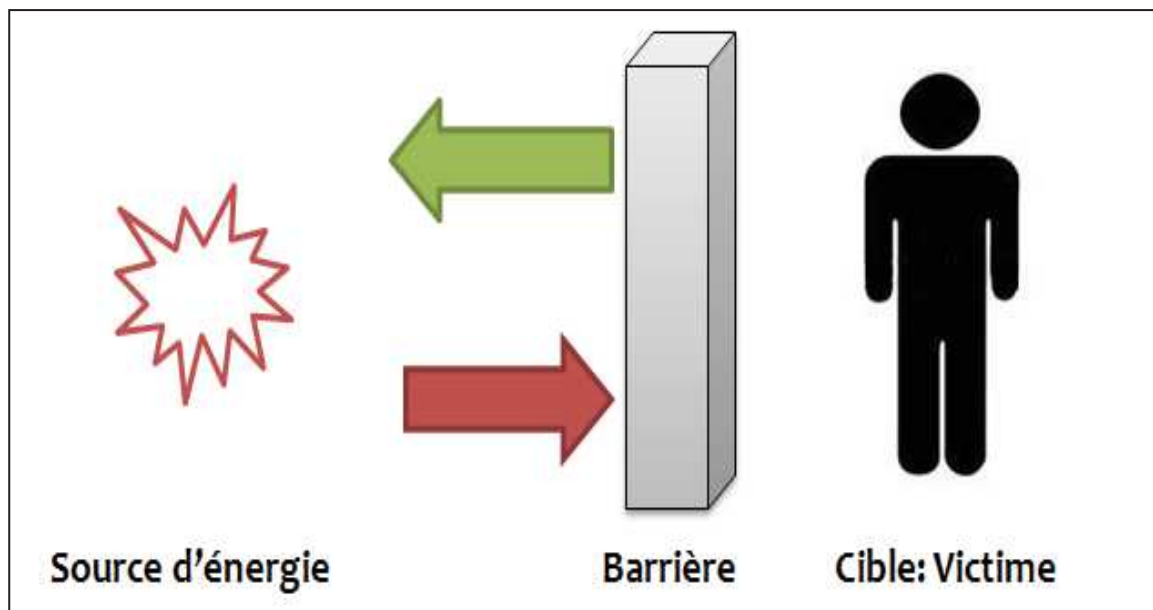


Figure I.1 :Modèle d'énergie [2].

## I.2. Concepts et définitions

### I.2.1. Barrière de sécurité

Aucune définition commune de la barrière de sécurité à long terme a été trouvée dans la littérature, bien que différents aspects du terme ont été discutés, voir, par exemple, (CCPS 2001[12]; [13]; [14]; [15]; [4]; [16]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21]), et appliquées dans la pratique depuis plusieurs décennies, d'autres termes avec une signification similaire (barrière, la défense, la couche de protection, l'élément essentiel de sécurité, fonction de sécurité, etc.) ont été utilisés transversalement entre les industries, les secteurs et les pays. Les barrières de sécurité sont classées dans de nombreuses manières par différents auteurs et leurs performances sont décrites de diverses façons.

La fonction de barrière, et le système de barrière sont proposés comme base pour poursuivre la discussion et l'analyse des barrières de sécurité.

Les barrières de sécurité sont des moyens physiques et / ou non-physiques Conçus pour prévenir, contrôler ou réduire les événements indésirables ou



accidents. Les moyens peuvent varier d'une unité technique ou d'action humaine, à un système sociotechnique complexe [11].

Les événements indésirables sont, par exemple, des défaillances techniques, des erreurs humaines, des événements externes, ou une combinaison de ces événements pouvant donner naissance à des dangers potentiels. Les accidents sont des événements indésirables et imprévus qui conduisent à la perte de vies humaines, des blessures corporelles, dommages pour l'environnement, ou des dommages matériels [11].

Les facteurs qui préviennent les transitions entre les phases (les états) d'une séquence d'accident peuvent être considérés comme une barrière de sécurité [22].

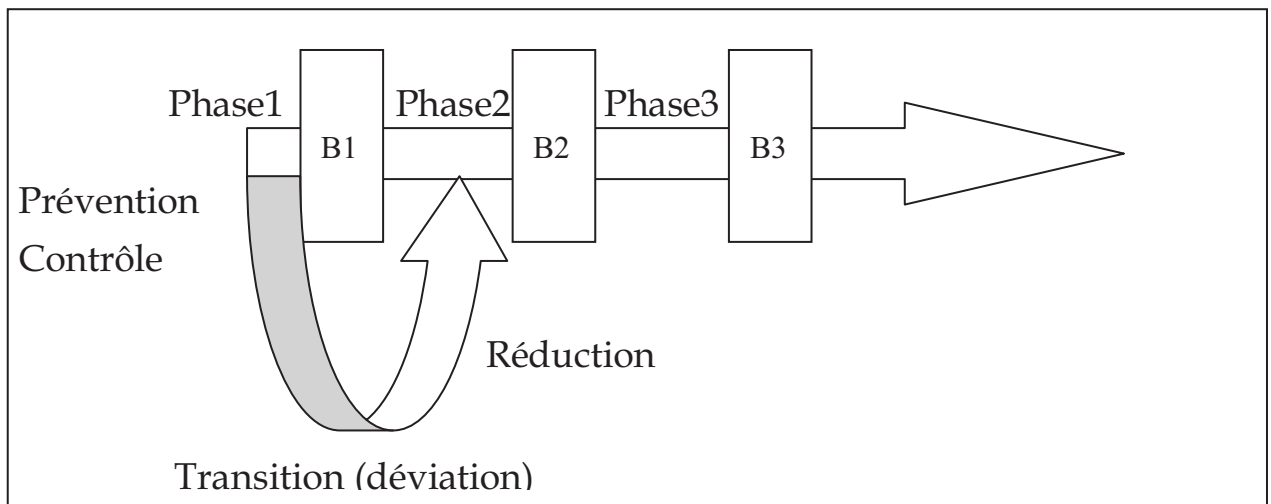


Figure I.2 : Modèle de séquence d'accident [22].

### I.2.2. Fonction de barrière et fonction de sécurité

Une fonction de barrière est une fonction conçue pour prévenir, contrôler, ou réduire les accidents ou les événements indésirables, les fonctions de barrière décrivent l'objectif des barrières de sécurité ou ce que les barrières de sécurité doivent faire afin de prévenir, contrôler, ou réduire les accidents ou les événements indésirables. Si la fonction de barrière est réalisée avec succès, elle doit avoir un effet direct et significatif sur le processus d'accident et / ou la conséquence d'un événement indésirable. Une fonction qui a tout au plus un effet indirect n'est pas considérée comme une fonction de barrière, mais comme un facteur d'influence de risque / fonction (comme fonction secondaire non-principale) [22].

Une fonction de barrière doit de préférence être définie par un verbe et un nom, par exemple, " Bloquer le flux " et " Arrêter le moteur ". Les verbes éviter, prévenir, contrôler et protéger sont suggérées dans l'ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the Context of the Seveso II Directive) pour décrire une fonction de barrière générique. Parfois, il peut être nécessaire d'inclure un modificateur afin de décrire l'objet de la fonction [23].

### I.2.3. Système de barrière

Un système de barrière est un système qui a été conçu et mis en œuvre pour assurer une ou plusieurs fonctions de barrière, il décrit comment la fonction de barrière est réalisée ou exécutée. Si le système fonctionne, la fonction de barrière est réalisée. Un système de barrière peut avoir plusieurs fonctions de barrière (par exemple SIS). Dans certains cas, il peut y avoir plusieurs systèmes de barrière qui réalisent une fonction de barrière. Un élément de barrière est un composant ou un sous-système d'un système barrière qui n'est pas en soi suffisant pour effectuer une fonction de barrière. Un sous-système de barrière peut contenir plusieurs éléments de barrières redondantes. Dans ce cas, un élément de barrière spécifique n'a pas besoin d'avoir servi le système pour exécuter la fonction de barrière. C'est le cas pour la redondance des détecteurs de gaz connectés dans une configuration k-out-of-n. Le système de barrière peut être constitué de différents types de systèmes/éléments, par exemple, des éléments physiques et techniques (matériels, logiciels), les activités opérationnelles exécutées par l'homme, ou une combinaison de ceux-ci [22].

### I.3. Classification des barrières de sécurité

La classification des barrières de sécurité se fait de la manière suivante:

#### I.3.1. Classification des fonctions de barrière

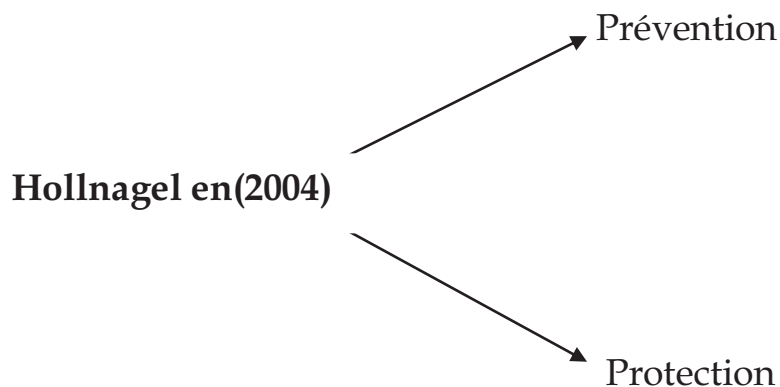
Lorsque les fonctions de la barrière sont liées à un modèle de processus ou les phases dans une séquence d'accident, il est courant de classer les fonctions de la barrière en trois catégories [9, 10, 11] :

- Fonction de prévention
- Fonction de contrôle
- Fonction de mitigation ou de réduction

Cette classification est similaire à la catégorisation des fonctions de barrière utilisée dans MORT, où la matière de prévention, contrôle et la réduction sont utilisées [3].

Hollnagel décrit deux fonctions principales pour les barrières de sécurité ; prévention et protection. Les barrières destinées à travailler avant un événement initiateur spécifique sont considérées comme étant des moyens de prévention. Ces derniers sont censés faire en sorte que l'accident ne se produise pas, ou du moins, de ralentir le développement qui pourrait éventuellement donner naissance à un accident.

Les barrières destinées à fonctionner après un événement initiateur spécifique sont considérées comme des moyens de protection, et sont censées protéger l'environnement et les personnes, le système lui-même, ainsi de limiter les conséquences de l'accident [4].



Le projet-ARAMIS classe les fonctions de sécurité dans quatre grandes catégories décrites par les verbes d'action suivants [23] :

- La fonction éviter l'accident (to avoid)
- La fonction prévenir (to prevent)
- La fonction protéger (to protect)
- La fonction contrôler (to control)

Ces verbes sont décrits par Duijm, et la fonction éviter vise à supprimer toutes les causes possibles d'un événement en changeant la conception de l'équipement ou du type de produit utilisé, par exemple, l'utilisation d'un produit non-inflammable est une manière d'éviter un incendie. La fonction prévenir vise à réduire la probabilité d'occurrence d'un événement par la suppression d'une

partie de ses causes potentielles ou par la réduction de leur intensité, par exemple, à empêcher la corrosion, une meilleure qualité de l'acier peut être utilisée. Il n'est probablement pas suffisant pour éviter, mais il peut réduire sa probabilité d'occurrence [24].

La fonction de protéger suppose l'occurrence de l'évènement indésirable dont la nécessité d'intervenir pour protéger l'environnement, les travailleurs, le public, et tout le voisinage. (Par exemple les plans d'urgence, les cuvettes de rétention).

La fonction de contrôle vise à limiter la déviation d'un paramètre d'une situation normale à une situation inacceptable.

Exemple : une soupape de sécurité assure une telle fonction, par rapport à la pression de l'incident « sa fonction se transforme selon la situation ».

Dans la figure I.3, les différentes fonctions de barrière sont liées à des phases de l'Unité de Recherche sur les Accidents de Travail (OARU) modèle de processus (Kjelle'n & larsson). La séquence d'accident est divisée en trois phases, la phase initiale, la phase finale, et la phase des atteintes. Les fonctions de sécurité génériques prévenir, contrôler et réduire sont en rapport avec les transitions entre les différentes phases du modèle -OARU [25]

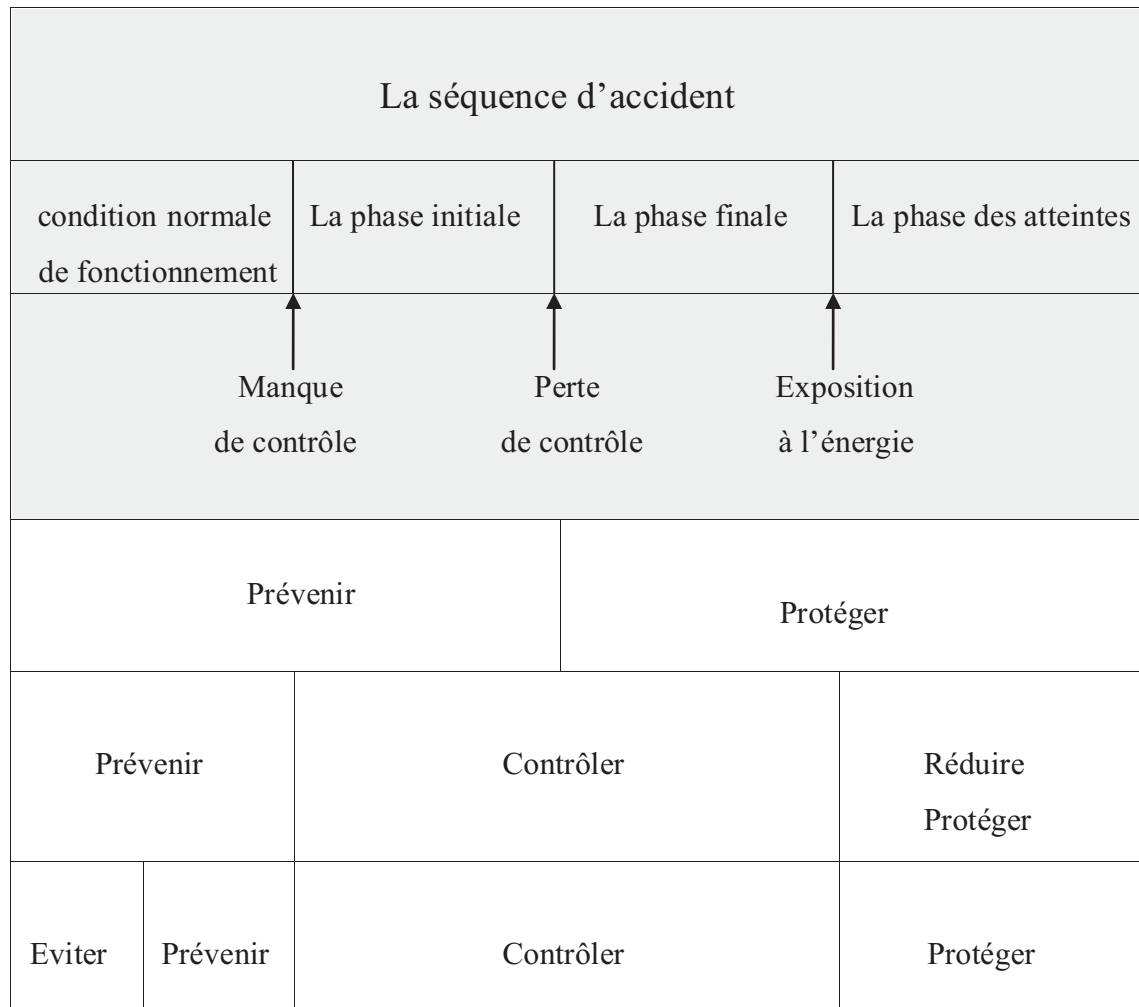


Figure I.3 : Fonctions de sécurité génériques liées à un modèle de processus [4].

### I.3.2. Autres classifications

Les fonctions essentielles de sécurité au sein de l'industrie Norvégienne ferroviaire sont les fonctions primaire, secondaire, et tertiaire [26].

- Fonction primaire (principale) qui est liée à des systèmes techniques pour le matériau laminé, les équipements de chemin (entraînement, réseau, le contrôle du trafic).
- Fonction secondaire : se sont les activités effectuées afin de maintenir la fonction primaire. (Exemples : la supervision, le diagnostique, l'entretien).
- Fonction tertiaire : se sont les systèmes de management de sécurité, les systèmes de management de la maintenance.

Leveson met l'accent sur les barrières liées aux logiciels et établit une distinction entre trois types de barrières fonctions, lock-out, lockin et verrouillage [27].

### I.3.3. Classification des systèmes de barrières

Une catégorisation couramment utilisée consiste à distinguer entre les barrières physiques et non-physiques employées dans MORT [16], dans la norme ISO 17776 (2000) [28], et par le DoE [29]. Aussi PSA indique que les barrières peuvent être physiques ou non physiques, ou une combinaison des deux [30]. Reason utilise les termes durs et mous défenses [31]. Wahlström et Gunsell font une classification similaire, et la distinction entre physique, technique et les barrières administratives [32].

Les barrières physiques sont incorporées dans la conception d'une construction, les barrières techniques sont lancées si un danger est réalisé, alors que les barrières administratives sont incorporées dans les systèmes et des procédures administratives.

Dans la norme IEC : 61511, les mesures de réduction des risques sont classées comme suit: (1) les systèmes instrumentés de sécurité (SIS), (2) autres technologies de sécurité liées au système, et (3) les installations de réduction des risques externes [10].

- Un SIS est composé de toute combinaison de capteur (s), unité logique (s) et élément (s) final.
- Autre technologie de sécurité liée au système basé sur une technologie électrique, électronique, ou électronique programmable, par exemple, une vanne de dépressurisation (Blow Down Valve).
- la réduction des risques externes est des mesures à réduire les risques qui est séparée et distincte du SIS ou d'autres systèmes liés à la technologie de sécurité, par exemple, les systèmes de pare-feu.

Une comparaison de certains termes utilisés pour classer les systèmes barrières selon la ligne de division entre principale " physique" (" côté gauche") ou " non-physique" (" coté droit") est représentée dans le tableau I.1.

**Tableau I.1 : Différentes classifications des barrières que physique ou non physique.**

Termes		Références
Physique	Non physique	[3, 28, 29, 30]
Défense dur	Défense doux	[33]
Physique	Technique Administrative	[32]
Physique	Technique Facteur humain/organisationnelle	[21]
Technique	Procédure/administrative Actions humain	[18]
Technique	Humain/organisationnelle Humain	[17]
Technique	Organisationnelle Opérationnelle	[34]
Physique	Management	[29]
Matériel	Comportementale	[35]

Il ya aussi une autre classification, une méthode a été recommandée pour classer les systèmes de barrières qui sont représentées dans la figure I.4. Toutefois, notez que les systèmes de barrières actives sont souvent basés sur une combinaison des barrières techniques, humaines et opérationnelles par exemple, une combinaison des barrières humaines / opérationnelles et les éléments techniques d'un système ESD [36]. Même si des différentes nomenclatures sont appliquées, la classification dans le quatrième niveau dans la figure I.4 est similaire à la classification proposée par Hale [35], et la classification des barrières techniques actives conforme avec la IEC: 61511 [10].

- Les barrières actives ont besoin d'activation pour fonctionner. (Exemple typique SIS, soupape de sécurité).
- Les barrières passives quant à elles, fonctionnent d'une manière continue sont être activées. (Exemple typique cuvette de rétention, les murs-contre-feux).

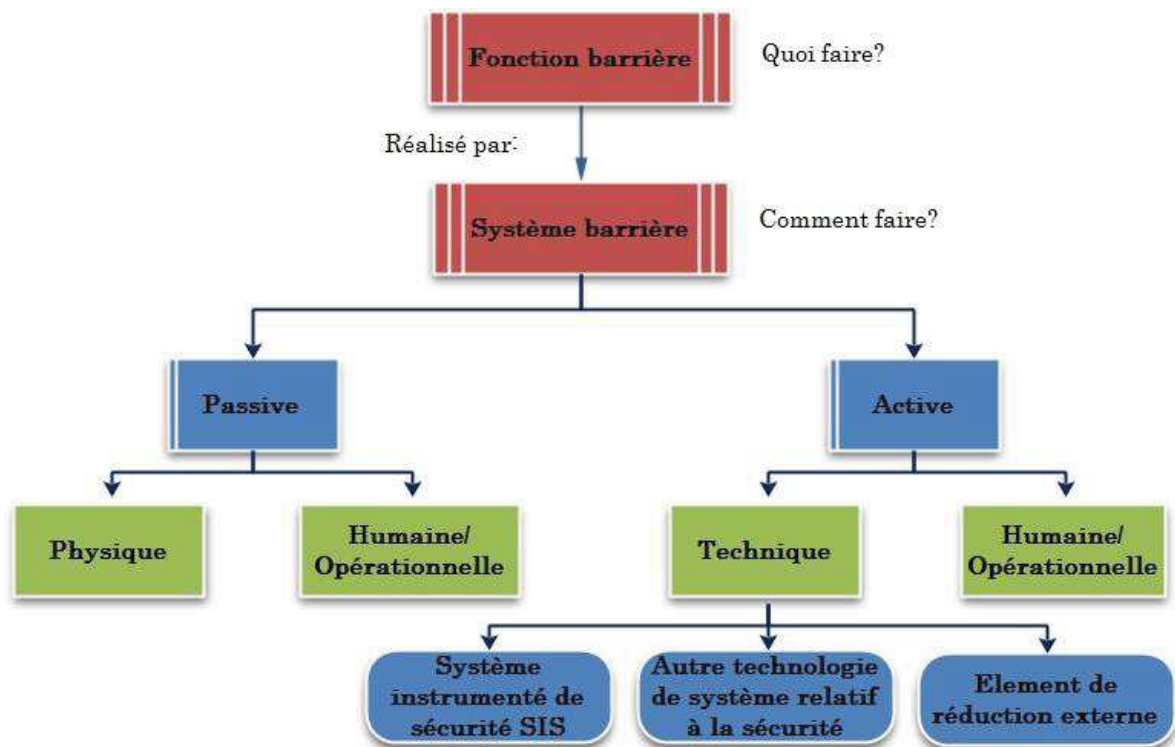


Figure I.4 : Classification des systèmes de sécurité [22]

#### I.4. Les critères de performance des barrières de sécurité

Hollnagel présente un ensemble des critères pragmatiques qui portent sur divers aspects de qualité de la barrière [37].

- **L'efficacité ou l'adéquation** : à quel point la barrière est capable d'achever sa fonction.
- **Les ressources exigées** : ce sont les ressources exigées pour implémenter et maintenir la barrière.
- **La robustesse (la fiabilité)** : à quel point elle peut résister et tolérer la variabilité de l'environnement ?
- **Le temps d'implémentation (la durée)** : c'est le temps allant de la conception à l'implémentation.
- **L'applicabilité aux tâches critiques de sécurité** : les tâches critiques de sécurité jouent un rôle particulier dans les systèmes sociotechniques. D'une part, ce sont les occasions où les barrières spécifiques peuvent être la plupart du temps nécessaires, d'autre part, elles sont généralement l'objet d'un certain nombre de restrictions à partir du management ou les organismes de réglementation.



- **La disponibilité** : est-ce que la barrière répond à la sollicitation ou non ?
- **L'évaluation**: par rapport à la réalisation de son objectif pour déterminer si elle est opérationnelle ou non.
- **La dépendance de l'action humaine** : à qu'elle point la barrière dépend de l'homme pour accomplir sa fonction ?

Il y a aussi d'autres critères d'évaluation de performance des barrières de sécurité [23] :

- **L'efficacité** : c'est la capacité de la barrière de sécurité d'accomplir une fonction de sécurité pendant une durée donnée selon un mode non dégradé et dans des conditions spécifiques, l'efficacité est mesurée par un pourcentage ou une probabilité d'accomplissement de la fonction de sécurité prédéfini (c'est la fiabilité de la barrière de sécurité).
- **le temps de réponse** : c'est le temps écoulé entre la sollicitation de la barrière et l'accomplissement total de la fonction de sécurité. Il est défini par le concepteur ou par le REX.
- **Le niveau de confiance** : c'est la probabilité de défaillance à la demande PFD c'est l'équivalent du SIL défini par la norme IEC 61508/511.

Le niveau de confiance s'applique à tout type de barrière de sécurité selon les phases du système industriel.

Le niveau de confiance en conception signifie que la barrière de sécurité est supposée être efficace comme à son installation

Le niveau de confiance opérationnel fait intégrer les conditions d'exploitation du système et le système de management de la sécurité.

### I.5. Critères de performance recommandés

Basé sur l'expérience de plusieurs projets et une synthèse de la littérature examinée, il est recommandé de traiter les attributs suivants pour caractériser la performance des barrières de sécurité [22]:

- **La fonctionnalité/l'efficacité** : c'est l'aptitude ou la capacité de réaliser une fonction spécifique sous des conditions techniques, opérationnelle, et environnementale donnée (exigences déterministes).

- **La fiabilité / la disponibilité (critères probabilistes) :** c'est l'aptitude de réaliser une fonction avec une fonctionnalité et un temps de réponse.
- **La robustesse :** c'est la capacité de résister aux différentes charges durant la séquence d'un accident.
- **L'événement ou la condition d'activation :** c'est l'évènement ou la condition qui active la barrière (c'est l'évènement générateur).

Il existe trois principaux types d'événements ou des conditions qui activent les barrières :

- La déviation par rapport une situation normale, par exemple, perturbation de processus, dégagement d'hydrocarbure, etc.
- L'exécution d'activité spécifique, par exemple, des activités où les barrières sont une partie nécessaire de l'activité afin de détecter les défaillances possibles introduites dans le cadre de l'activité, (permet de travailler, self contrôle du travail, contrôle par tierce personne).
- L'activité de maintenance et d'inspection, par exemple, inspection visant à révéler la corrosion.

### I.6. Conclusion

Le concept des barrières de sécurité est présenté dans ce chapitre. Les résultats sont basés sur l'expérience de plusieurs projets de recherche portant sur les barrières de sécurité et un examen de la documentation pertinente. Pas de terminologie commune applicable transversalement entre les secteurs et les domaines d'application, un ensemble de définitions est donc proposé dans le chapitre.

Les barrières de sécurité sont définies comme physiques et / ou non-physiques, des moyens planifiés pour prévenir, contrôler ou réduire les événements indésirables ou les accidents. Il est pratique de faire la distinction entre les fonctions de barrière et les systèmes de barrière qui réalisent ces fonctions.

Plusieurs façons de classification des barrières de sécurité existent. Fonctions de prévention, de contrôle, ou de réduction. Les Systèmes de barrières peuvent être classées dans plusieurs dimensions, et certaines dimensions principales sont ; active / passive, physique / technique par rapport à humain / opérationnelle,

fonctionnant, en continu / en ligne par rapport activé / hors ligne, et permanent par rapport à temporaire.

Les critères de performances des barrières de sécurité sont définis comme : (a) fonctionnalité / efficacité, (b) la fiabilité / disponibilité, (c) temps de réponse, (d) la robustesse, et (e) l'événement ou la condition activante. Pour certains types de barrières, pas tous les attributs sont utiles ou nécessaires pour décrire la performance de la barrière.

### I.7. Références bibliographiques

- [1] Gibson, J. (1961). *The contribution of experimental psychology to the Formulation of the problem of safety*. In Behavioural Approaches to Accident Research. New York: Association for the Aid of Crippled Children.
- [2] Haddon, W. J. (1980). *The basic strategies for reducing damage from hazards of all kinds*. *Hazard Prevention*, September–October (pp. 8–12).
- [3] Johnson, W. G. (1980). *MORT safety assurance systems*. New York: Marcel Dekker.
- [4] Hollnagel, E. (2004). *Barrier and accident prevention*. Hampshire, UK: Ashgate.
- [5] Fleming, K. N., & Silady, F. A. (2002). *A risk informed defense-in-depth framework for existing and advanced reactors*. *Reliability Engineering & System Safety*, 78(3), 205–225.
- [6] EC (1996). Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control Of major-accident hazards involving dangerous substances (Seveso II-directive).
- [7] EC (1998). Directive 98/37/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery as amended by Directive 98/79/ EC (The Machinery Directive).
- [8] PSA. (2001). *Regulations relating to management in the petroleum activities (The Management Regulations)*. 3 September 2001. Norway, Stavanger: Petroleum Safety Authority.

- [9] IEC:61508. (1998). Part 1-7 Functional safety of electrical /electronic / Programmable electronic safety-related systems. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [10] IEC:61511. (2002). Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [11] ISO:13702. (1999). Petroleum and natural gas industries – Control and Mitigation of fires and explosions on offshore production installations – Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.
- [12] CCPS. (2001). *Layer of protection analysis simplified process risk assessment*. New York: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.
- [13] Duijm, N. J., Andersen, H. B., Hale, A., Goossens, L., & Hourtolou, D. (2004). *Evaluating and managing safety barriers in major hazard plants*. In PSAM 7 – ESREL '04, Berlin, Germany.
- [14] Goossens, L., & Hourtolou, D. (2003). *What is a barrier?*, ARAMIS working Document.
- [15] Harms-Ringdahl, L. (2003). *Assessing safety functions – Results from a case study at an industrial workplace*. *Safety Science*, 41(8), 701–720.
- [16] Johnson, W. G. (1980). *MORT safety assurance systems*. New York: Marcel Dekker.
- [17] Kecklund, L. J., Edland, A., Wedin, P., & Svenson, O. (1996). *Safety barrier function analysis in a process industry: A nuclear power application*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17(3), 275–284.
- [18] Neogy, P., Hanson, A. L., Davis, P. R., & Fenstermacher, T. E. (1996). *Hazard and Barrier analysis guidance document*, Rev. 0. US Department of Energy (DoE), EH-33 Office of Operating Experience Analysis and Feedback.
- [19] Rosness, R. (2005). *Ten thumbs and zero accidents? About fault tolerance and accidents*. Kjeller: Institute for Energy Technology (in Norwegian).

- [20] Sklet, S., & Hauge, S. (2004). *Reflections on the concept of safety barriers*. In PSAM7 – ESREL 2004, Berlin.
- [21] Svenson, O. (1991). *The accident evolution and barrier function (AEB) model applied to incident analysis in the processing industries*. *Risk Analysis*, 11(3), 499–507.
- [22] S. Sklet, *Safety barriers: définition, classification, and performance*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2006).
- [23] Andersen, H., Casal, J., Dandrieux, A., Debray, B., De Dianous, V., Duijm, N. J., et al. (2004). ARAMIS – user guide. EC Contract number EVG1-CT-2001-00036.
- [24] Duijm, N. J., Madsen, M. D., Andersen, H. B., Hale, A., Goossens, L., Londiche, H., et al. (2003). *Assessing the effect of safety management efficiency on industrial risk*. In ESREL 2003. Maastricht: Balkema.
- [25] Kjelle´n, U., & Larsson, T. (1981). *Investigating accidents and reducing risks – A dynamic approach*. *Journal of occupational accidents*, 3, 129–140.
- [26] Vatn, J. (2001). *SINTEF internal memo regarding safety critical functions in the railway system in Norway*. Rev. 3. Trondheim: SINTEF.
- [27] Leveson, N. (1995). *SafeWare: System safety and computers*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- [28] ISO:17776. (2000). *Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [29] DoE. (1997). *Implementation guide for use with DOE Order 225.1A, accident Investigation*, DOE G 225.1A-1, Rev. 1. Washington, DC: US Department of Energy (DOE).
- [30] PSA. (2002). *Guidelines to regulations relating to management in the petroleum activities (The management regulations)*. Norway, Stavanger: Petroleum Safety Authority.
- [31] Reason, J., *Managing the risks of organizational accidents*, Ashgate, Aldershot, 1997.

[32] Wahlström, B., & Gunsell, L. (1998). *Reactor safety; a description and assessment of the Nordic safety work (In Swedish; Reaktorsäkerhet; En beskrivning och en värdering av säkerhetsarbetet i Norden)*. Riso forskningscenter: NKS-sekretariatet.

[33] Sklet, S. and Steiro, T., *Lekkasje i forbindelse med kabeloperasjoner; Tekniske og operasjonelle forholdes betydning for lekkasjer med storulykkespotensiale*, STF50 A05177, SINTEF, Trondheim, 2005.

[34] Bento, J.-P. (2003). *Review from an MTO-perspective of five investigation Reports from BP (Draft)*. Norway: Stavanger.

[35] Hale, A. (2003). *Note on barriers and delivery systems*. In PRISM conference, Athens.

[36] Corneliussen, K., & Sklet, S. (2003). *Challenges related to surveillance of safety functions*. In ESREL 2003. Maastricht, The Netherlands: Balkema.

[37] Hollnagel, E. (1995). *The art of efficient man-machine interaction: Improving the coupling between man and machine*. In J.-M. Hoc, P. C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds.), *Cognition & Human-Computer Cooperation*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Description de la  
méthodologie  
BORA

## **CHAPITRE II**

### II.1. Introduction

Le projet BORA est un projet de recherche mené dans la période 2003-2006 où l'objet principale était de réaliser une démonstration de la modélisation et l'analyse des barrières vis-à-vis des plateformes de production en offshore, y compris les éléments des barrières humaines, techniques et organisationnelles. Les barrières devraient être incluses avant et après la réalisation des événements imprévus, soit pour prévenir les événements de se produire, si non pour éliminer les conséquences.

L'analyse se présente sous une forme quantitative autant que possible, avec les restrictions imposées par les modèles et les données disponibles. L'analyse est effectuée de telle manière qu'elle permettra d'identifier les défaillances et les combinaisons qui comportent des risques.

Cela peut également être utilisé pour identifier les mesures nécessaires pour contrôler le risque et maîtriser l'effet des modifications et changement de configuration, ainsi que pour révéler l'effet des facteurs d'influence sur les barrières et leurs performances dans un système opérationnel.

### II.2. Aperçu de la méthodologie BORA

La méthodologie générale qui a été développée est fondée sur la base des travaux entrepris dans le cadre du projet BORA. Le fondement de base peut se résumer comme suit :

- Une revue de la littérature a été effectuée afin d'identifier les approches possibles et leur utilisation dans le développement d'une méthodologie pour ce projet.
- Une méthodologie a été élaborée.
- La méthodologie proposée a été testée dans plusieurs études de cas. A partir de cette méthodologie, une base théorique a été établie et l'expérience de l'utilisation a été acquise.

L'ensemble des éléments d'un modèle de risque générique sont illustrés dans la figure II.1.



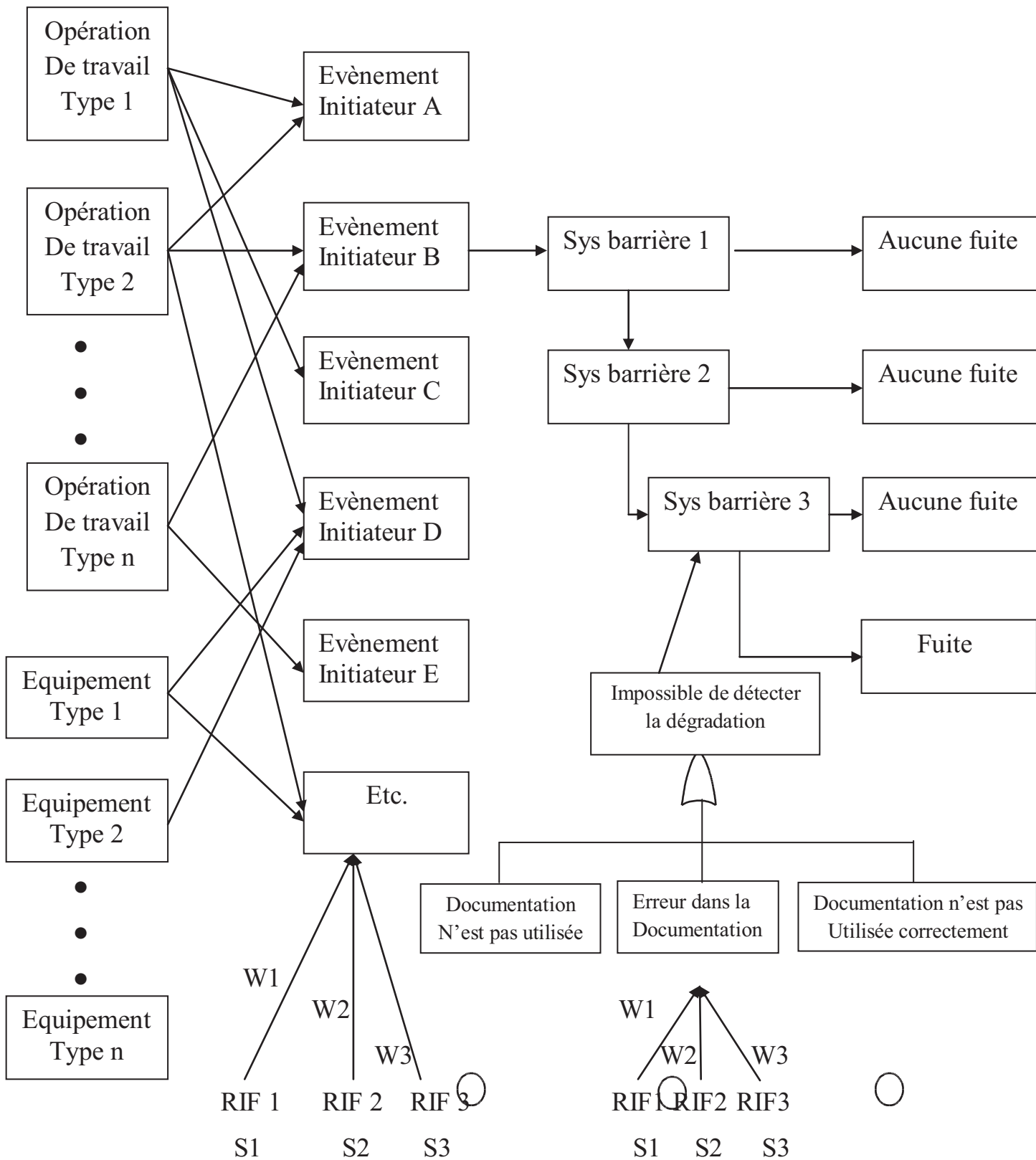


Figure II.1: Illustration du modèle de risque générique [1]

En principe, le modèle de risque peut être considéré comme comprenant un ensemble d'arbres d'événements, avec les éléments suivants :

- Un ensemble d'événements initiateurs, à titre d'exemple, une vanne en mauvaise position après une opération d'entretien.

C'est un événement qui peut entraîner une fuite, si certaines barrières échouent pour y faire face.

- Un ensemble de diagrammes block barrière modélisant les systèmes de barrières mises en place pour prévenir les événements initiateurs de provoquer une fuite. Les diagrammes block barrières peuvent être convertis en arbres des événements.
- Les événements finaux dans les arbres des événements sont de deux types: "Pas de fuite" ou "fuite". Les événements finaux de "fuite" correspondent aux événements initiateurs dans les arbres d'événements. La méthodologie BORA peut donc être considérée comme une extension des arbres des événements, pour la modélisation des facteurs de causalité de manière plus détaillée.
- La probabilité de défaillance des systèmes de barrière est modélisée avec des arbres de défaillance.
- Un élément clé est l'introduction des facteurs d'influence de risque qui ont un effet sur la performance ou la probabilité de défaillance des barrières.

L'accent dans la description suivante est mis sur la façon d'effectuer une étude utilisant le modèle de risque décrit brièvement ci-dessus. Plus de détails sur le modèle de risque et son développement peuvent être trouvés dans le Manuel BORA [1,2].

### II.3. Les principales étapes d'une analyse BORA

Les étapes d'une analyse BORA sont les suivantes :

#### II.3.1. L'identification du système

Cela se fait souvent par l'analyse des tâches. Le but de l'analyse des tâches est de mettre en évidence leurs interactions et de décrire les tâches à effectuer pour accomplir une opération.

Une analyse des tâches peut également servir à prédire ou à expliquer les performances d'un opérateur humain dans un environnement donné, il existe différents moyens (méthodes, outils, etc.) pour atteindre cet objectif.

### II.3.2. L'identification des événements initiateurs liés à ces tâches

Ce sont des échecs ou des erreurs qui peuvent conduire à un accident, s'ils ne sont pas détectés et corrigés à temps. Ceux-ci peuvent être des erreurs humaines, organisationnelles/fonctionnelles ou des défaillances techniques.

Un exemple peut être donné par le remplacement d'une pièce de rechange lors d'une opération de maintenance, où cette pièce n'est pas correctement serrée.

De même, l'équipement lui-même peut être échoué à cause d'une défaillance technique, telle que la corrosion, la fatigue, l'érosion ou d'autres dégradations de mécanismes [3].

### II.3.3. Affectation des fréquences génériques pour chaque événement initiateur

Les fréquences génériques pour chaque événement initiateur, peuvent être établies à partir des données historiques sur la conséquence indésirable (REX) et l'analyse statistique basée sur les distributions de la fréquence à laquelle les événements initiateurs ont eu lieu. Ces fréquences sont réajustées (corrigées) en tenant en compte des RIF (Risk Influencing Factors) pour une installation spécifique, c'est-à-dire selon des conditions spécifiques de fonctionnement.

Deux méthodes sont proposées pour calculer les fréquences génériques des événements initiateurs :

#### **A. Utiliser le nombre d'équipements et la distribution des événements initiateurs:**

La première solution utilise des fréquences établies à partir des données génériques de conséquences indésirables et le nombre d'équipements combiné avec la distribution de probabilité pour les événements initiateurs. C'est probablement la meilleure approche lors de l'utilisation de la méthodologie BORA dans un QRA global. Ce ne sera cependant pas donner la fréquence de l'événement initiateur directement, mais la fréquence des conséquences dues à des événements initiateurs spécifiques. Cependant, cela peut aussi être utilisé pour prendre en compte l'effet des barrières pour l'installation spécifique à l'étude.

Cette solution basée sur un examen de toutes les conséquences indésirables, une distribution de ces conséquences a été appliquée. Exprimées en termes de la

probabilité où la cause d'une conséquence est un événement initiateur spécifique, étant donné qu'une conséquence s'est produite. Cela montre par exemple que l'événement initiateur (par exemple isolement) représente un total de 14% de toutes les fuites ou en d'autres termes qu'il ya une probabilité de 0,14 qu'une fuite soit causée par cet événement initiateur.

À partir du nombre d'équipements, la fréquence des fuites causées par un certain événement initiateur peut être trouvée en multipliant la fréquence de la fuite totale pour un segment par les pourcentages des évènements initiateurs [3].

$$f_{GL,EIi} = f_{GL,Total} \cdot P_{EIi} \quad (II.1)$$

### B. Utilisation des données sur les activités et les probabilités d'erreur humaine

La deuxième solution utilise le niveau d'activité en tant que point de départ (par exemple, pas de temps à ouvrir les équipements pour la maintenance/ réparation / inspection). Ceci est combiné avec la probabilité de l'erreur humaine pour établir les fréquences des événements initiateurs directement. Cette approche est susceptible d'être mieux adaptée pour les études des problèmes spécifiques ou limités qui ne couvrent pas toute l'installation.

Les défaillances techniques peuvent être directement liées au nombre d'équipements, suivis par des ajustements sur la base de RIF marquant pour l'installation spécifique. Pour les défaillances opérationnelles, le calcul peut, en principe, être effectué comme suit :

$$f_{EI} = NWO \cdot P_{(EI/WO)} \quad (II.2)$$

Où :

$f_{EI}$  = Fréquence de l'évènement initiateur

NWO = Nombre des opérations de travail/an

$P_{(EI/WO)}$  = la probabilité conditionnelle de l'évènement initiateur lorsque WO est réalisé.

### II.3.4. Identification des barrières et le développement du diagramme block barrière

Cette étape consiste à élaborer un modèle de risque de base qui couvre un ensemble représentatif des scénarios d'accident. Le but est d'identifier, illustrer et décrire les scénarios qui pourraient conduire à la conséquence indésirable sur un système.

Le modèle de base du risque constitue la base pour l'analyse qualitative et quantitative du risque et des conséquences indésirables et les barrières de sécurité mises en place pour prévenir ces conséquences. Le modèle de base du risque est illustré par le diagramme block barrières (DBB) comme montré dans la figure II.2. Un diagramme block barrières se compose d'un événement initiateur, des flèches qui indiquent la séquence des événements, les fonctions de la barrière, et les résultats possibles. Une flèche horizontale indique que le système de barrière remplit sa fonction, alors que la flèche vers le bas indique l'échec de la fonction.

Un diagramme block barrière correspondant à un arbre d'événements peut être utilisé comme une base pour l'analyse quantitative [4].

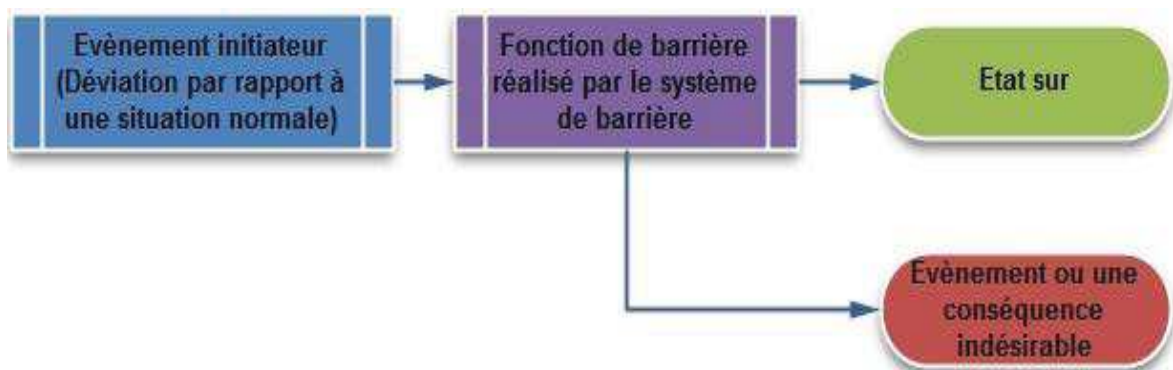


Figure II.2: Illustration d'un diagramme block barrière

Un événement initiateur pour un scénario d'accident est la première déviation significative à partir d'une situation normale.

Une fonction de barrière est définie comme une fonction de prévenir, contrôler ou réduire les accidents ou les événements indésirables [5].

Un système de barrières est un système qui est conçu et mis en œuvre pour réaliser une ou plusieurs fonctions de barrière.

Un système de barrière peut être constitué de différents types d'éléments par exemple, les éléments techniques (matériels et logiciels), les activités opérationnelles exécutées par l'homme, ou une combinaison de ceux-ci. Dans certains cas, il peut y avoir plusieurs systèmes de barrières qui portent sur une fonction de barrière.

### II.3.5. Modélisation de la performance des barrières de sécurité

L'étape suivante consiste à modéliser la performance des barrières de sécurité. Le but de cette modélisation est d'analyser la performance spécifique des barrières de l'installation et permettre d'achever une analyse spécifique des conditions des ressources humaines, opérationnelles, organisationnelles et les facteurs techniques.

Les barrières de sécurité sont décrites comme des "boîtes" séparées dans le diagramme block barrière, les attributs suivants concernant la performance des barrières de sécurité devraient être autorisés dans l'analyse: a) l'événement ou la condition activante, b) la fonctionnalité ou l'efficacité, c) le temps de réponse, d) la fiabilité / la disponibilité, et e) la robustesse [5].

Dans la méthodologie BORA, la performance des systèmes de barrières est modélisée par l'arbre de défaillance (AdD), (voir figure II.3). Cet événement sommet doit être la défaillance ou la dégradation du système de barrière et doit être adapté à chaque barrière spécifique dans les différents scénarios. Les résultats de l'analyse qualitative de l'arbre de défaillance se dressent sous forme d'une liste des événements de base et une vue d'ensemble (minimale) ces événements de base sont bas ou événements «feuilles» d'un arbre de défaillance (par exemple, le composant des échecs et des erreurs humaines), tandis qu'une coupe définit un ensemble des événements de base dont la réalisation (à la fois) garantit que l'événement sommet se produit [6]. Une coupe réglée est dite minime si l'ensemble ne peut pas être réduit sans perdre son statut comme un ensemble de coupe.

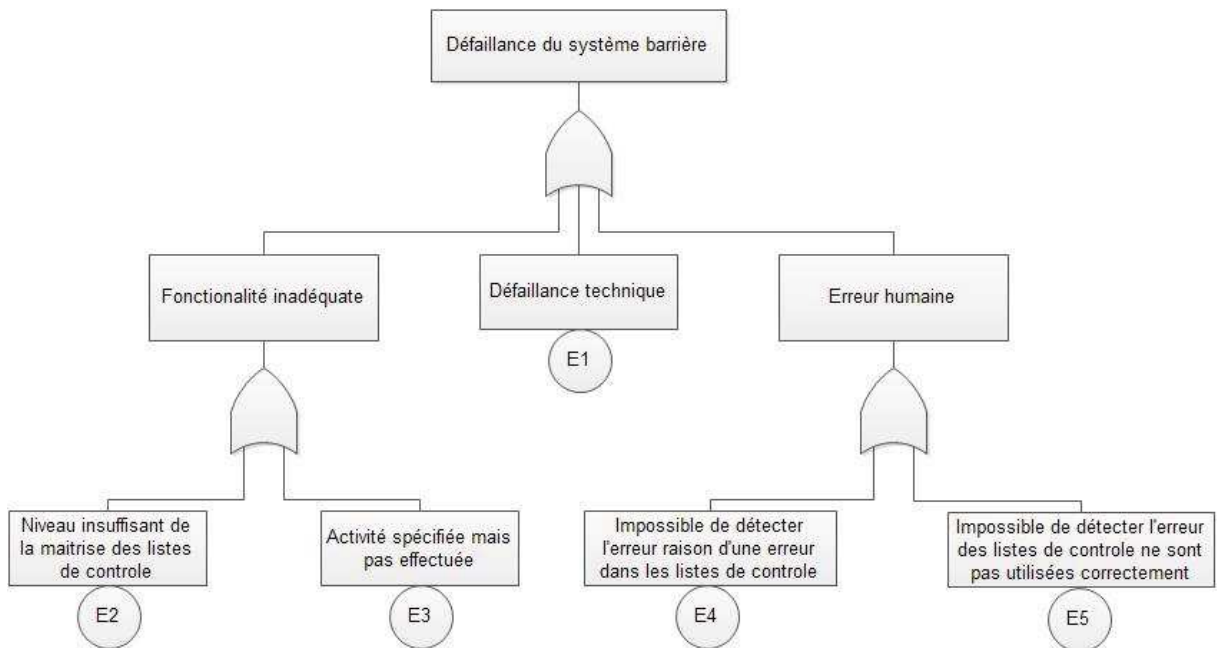


Figure II.3 : performance du système de barrière par L'Add.

### II.3.6. Affectation des probabilités génériques des événements de bases

Dans cette étape, le but est d'affecter les données sur les événements de base dans les arbres de défaillance et effectuer une analyse quantitative du risque par l'utilisation de ces données (analyse quantitative des arbres de défaillance et arbres d'événements).

Dans la pratique, l'utilisation extensive des données moyennes de l'industrie sont nécessaires pour effectuer l'analyse quantitative. Plusieurs bases de données sont disponibles pour la présentation des données moyennes de l'industrie comme OREDA [7] pour les données de fiabilité de l'équipement, et THERP [8] et CORE-DATA [9, 10] pour les données de fiabilité humaine (voir [11] pour un aperçu des sources de données).

### II.3.7. Calcul de la fréquence de la conséquence indésirable basée sur des probabilités des événements génériques.

Les fréquences de la conséquence indésirable suivant une perte de confinement spécifique sont basées uniquement sur des données d'entrée génériques et peuvent désormais être calculées. Cela peut se faire de deux manières différentes. La première solution implique d'utiliser l'équation (II.1) qui donne directement les fréquences de la conséquence indésirable.

La deuxième solution consiste à utiliser la fréquence de l'événement initiateur calculé de la manière décrite à l'étape II.3.3.

La fréquence de fuite peut ensuite être calculée en prenant en compte l'effet des barrières, comme illustré dans le diagramme block barrière. Le calcul se fait en fonction de la structure du DBB [3].

Les fréquences génériques pour les conséquences causées par les différents événements initiateurs peuvent être calculées comme suit (l'équation dépendra de la forme de DBB):

$$f_{G, EI} = f_{EIi} \cdot P_{f, SB1} \cdot P_{f, SB2} \dots \dots \dots P_{f, SBi} \quad (II.3)$$

Où :

$f_{EIi}$  = Fréquence de l'évènement initiateur i

$P_{f, SBi}$  = Probabilité de défaillance du système barrière i

Ces valeurs moyennes (les probabilités des évènements de bases) sont corrigées aussi par des RIF. Des données spécifiques de l'usine peuvent être trouvées, par exemple, des bases de données sur les incidents, les données du journal, et les bases de données de maintenance.

### II.3.8. Identification des RIF (Risk Influencing Factors)

Le RIF peut être identifié par un diagramme d'influence de risque. Le but de ce diagramme est d'incorporer l'effet des conditions spécifiques du système en ce qui concerne les RIF humains, opérationnels, organisationnels et techniques sur les probabilités des événements de base, les fréquences des événements initiateurs et les performances de la barrière [12].

Il est préférable d'utiliser à la fois l'approche ascendante et l'approche descendante afin de couvrir chaque cas. Ainsi, chaque type d'événements peut être considéré en cas de complexité et de variation. S'il est possible, écrire une taxonomie détaillée des RIF en fonction des facteurs et l'expérience de l'étude du cas de MTO [13].



Un exemple de diagramme d'influence du risque pour l'événement "Défaut de base pour détecter des fuites dans le test de fuite" qui est influencée par quatre RIF est représenté sur la figure II.4.

Si nécessaire, nous devons développer un diagramme d'influence du risque pour chaque événement de base. Le nombre de RIF pouvant influencer chaque événement de base est limité à six, afin de réduire le nombre total de RIF dans l'analyse [4].



Figure II.4: Exemple du diagramme d'influence du risque

Dans le tableau II.1 ci-dessous, une liste des RIF avec une brève description pour chacun est donnée. Cette liste est établie sur la base d'une grande variété de sources et vise à être une liste exhaustive qui peut être considérée comme point de départ dans la plupart des situations qui sont pertinentes par rapport à ce travail.

Tableau II.1: Description des facteurs d'influence de risque (RIF)

Groupe de RIF	RIF	Couvrant les aspects liés à
Personnel	Compétence	Compétence, expérience, connaissance du système et formation du personnel.
	Charge de travail/stress	Charge de travail générale sur personnes (la somme de toutes les tâches et activités)
	Milieu de travail	Environnement de travail physique comme bruit, vibration, lumière, utilisation de substances chimiques, etc.
	Fatigue	Fatigue de la personne, par exemple en raison du quart de nuit et une vaste utilisation des heures supplémentaires.
Tâche	Méthodologie	Méthodologie utilisée pour effectuer une tâche spécifique.
	Supervision de la tâche	Supervision des tâches spécifiques par un superviseur (p. ex., par le gestionnaire des opérations ou supervision mécanique.
	Complexité de la tâche	Complexité d'une tâche spécifique.
	Pression du temps	Pression du temps dans la planification, l'exécution et la finition d'une tâche spécifique.
	Outils	Disponibilité et efficacité opérationnelle des outils nécessaires pour effectuer une tâche.

	Pièces de rechange	Disponibilité des pièces de rechange nécessaires pour effectuer la tâche.
Système technique	Conception de l'équipement	Conception d'équipements et de systèmes tels que le type de bride (ANSI ou compact), type de vanne, etc..
	Propriétés des matériaux	Propriétés du matériau sélectionné en ce qui concerne la corrosion, l'érosion, fatigue, joint propriétés des matériaux, etc..
	Complexité du processus	Complexité générale de l'usine de processus dans son ensemble.
	HMI (Interface homme-machine)	Interface homme-machine comme facteurs ergonomiques, étiquetage du matériel, positionner les commentaires des soupapes, des alarmes, etc..
	Maintenabilité /accessibilité	Maintenabilité des équipements et des systèmes tels que l'accessibilité aux valves et brides, espace pour utiliser les outils nécessaires, etc.
	Rétroaction du système	Comment les erreurs et les échecs sont instantanément détecté, à cause de l'alarme, défaut de démarrage, etc..
	Condition technique	Condition de l'installation technique.
Contrôle administratif	Procédures	Qualité et disponibilité des procédures permanentes et les descriptions de tâche/projet.
	Permis de travail	Système de travail permet, comme le demande, examen, approbation, suivi et contrôle.
	Instructions de travail	Qualité et disponibilité de descriptions de travail comme analyse de sécurité des tâches et plans d'isolement.
	Documentation	Qualité, disponibilité et mise à jour des dessins, P & ID, etc..
Facteurs organisationnels	Programmes	Étendue et la qualité des programmes de maintenance préventive (PM), surveillance (CM), inspection, 3ème contrôle du parti du travail, utiliser des listes de contrôle/commande libre, etc.. Un aspect important est si PM, CM, etc., est spécifié
	Pratique de travail	Pratique courante au cours de l'accomplissement d'activités professionnelles. Facteurs comme s'il procédures et listes de contrôle sont utilisés et suivi, si les raccourcis sont acceptées, se concentrent sur le temps avant la qualité, etc..
	Supervision	Supervision sur la plateforme comme le suivi des activités, suivi de plans, délais, etc..
	Communication	Communication entre les différents acteurs comme directeur de plateforme secteur, superviseurs, zone techniciens, entrepreneurs de maintenance, techniciens, etc..
	Propreté et nettoyage	Nettoyage général et l'ordre dans différents zones sur la plate-forme.
	Systèmes de soutien	Qualité des systèmes de support de données, etc.
	Critères d'acceptation	Définitions des critères d'acceptation spécifiques associés par exemple : État de surveillance, inspection, etc..
	Activités simultanées	Quantité d'activités simultanées, soit prévu (comme les maintenances et modifications) et imprévus (comme arrêt).
	Gestion des changements	Changements et modifications des changements.

### II.3.9. Affectation des poids et des scores de RIF

Les RIF sont caractérisés par un "Poids" et un "Score". Le poids nous dit combien le RIF influe sur la probabilité (un grand poids implique une forte influence, un poids faible implique une faible influence) et le score nous le dit l'état du RIF pour l'installation étudiée. A titre d'exemple, la probabilité de faire une erreur lors du remplacement d'un joint de bride peut dépendre de la compétence du mécanicien de faire le travail et la contrainte du temps lorsque le travail est effectué. Si la compétence est élevée, la probabilité sera faible, tandis que si la situation de travail est stressante la probabilité peut augmenter.

Une échelle de cinq points (de grande importance à la faible importance) est appliquée. Quantitativement, les RIF sont donnés en fonction des poids relatifs sur l'échelle de 10 - 8 - 6 - 4 - 2. Les coefficients de pondération sont normalisés à la Somme des poids pour les RIF influençant un événement de base doit être égal à 1. [13]

**Tableau II.2: Exemple sur la pondération par la normalisation**

B1 libération due à une isolation incorrecte						
B2 control du travail par un sous-traitant						
E2 control du travail par un sous-traitant mais pas encore réalisé						
RIF	Importance (poids)					Pondération normalisée
RIF	Haut (10)	(8)	(6)	(4)	Bas (2)	
Pression du temps					×	0.09
Pratique du travail	×					0.45
Supervision			×			0.27
Communication				×		0.18
Poids	10	0	6	4	2	1
Poids total	22					1

Notation de RIF implique d'attribuer une note à chaque RIF identifié dans le diagramme d'influence du risque.

Chaque RIF est attribué une note de A à F où note A correspond à la meilleure norme dans l'industrie, la note C correspond à la moyenne de l'industrie, et le score F correspond au pire pratique dans l'industrie (voir le tableau II.3) [14].

**Tableau II.3: Système générique pour le score des RIF**

Score	Explication
A	État correspond à la meilleure norme dans l'industrie
B	État correspond à un niveau supérieur à la moyenne de l'industrie
C	État correspond à la moyenne de l'industrie
D	État correspond à un niveau légèrement inférieur à la moyenne De l'industrie
E	État correspond à un niveau nettement inférieur à la moyenne

	De l'industrie
F	État correspond au pire pratique dans l'industrie

---

On suppose dans BORA une progression linéaire entre le A et le F.

### II.3.10. Réajustement (correction) des probabilités et des fréquences moyennes

Dans BORA les valeurs moyennes des probabilités et des fréquences sont réajustées pour tenir en compte les conditions spécifiques des installations (reflétant ainsi l'intérêt majeur de la méthodologie BORA).

$$Prev(A) = Pave(A) \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \quad (II.4)$$

Où :

$Prev(A)$  = Probabilité ajustée (Révisée)

$Pave(A)$  = probabilité moyenne de l'industrie (Statistique) de l'occurrence de l'évènement A

$W_i$  = poids du RIF pour l'évènement A

$Q_i$  = mesure du score de RIF, et  $n$  est le nombre de RIF

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (II.5)$$

Le défi consiste maintenant à déterminer les valeurs appropriées pour  $Q_i$  et  $W_i$ .

Pour déterminer les  $Q_i$  on a besoin d'associer un nombre à chaque score d'état de A-F. Le moyen proposé pour déterminer le  $Q_i$  est;

- Déterminer  $P_{low}(A)$  comme la limite inférieure pour  $Prev(A)$ , est donnée par jugement d'expert.
- Déterminer  $P_{high}(A)$  comme la limite supérieure pour  $Prev(A)$ , est donnée par un jugement d'expert.
- Ensuite, mettre pour  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$$Q_i(S) = \begin{cases} P_{low} / Pave & Si \quad S = A \\ 1 & Si \quad S = C \\ P_{high} / Pave & Si \quad S = F \end{cases} \quad (II.6)$$

Par conséquent, si le score est A, et  $Plow(A)$  est 10% du  $Pave(A)$ , alors  $Qi$  est égale à 0,1. Si le score s est F, et  $Phigh(A)$  est dix fois plus élevé que  $Pave(A)$ , alors  $Qi$  est égal à 10. Si le score s est C, alors  $Qi$  est égal à 1. En outre, si tous les RIF ont des scores égaux à C, alors  $Prev(A) = Pave(A)$ , si tous les RIF ont des scores égaux à A, alors  $Prev(A) = Plow(A)$ , et si tous les RIF ont des scores égaux à F, alors  $Prev(A) = Phigh(A)$ .

Pour déterminer les valeurs de  $Qi$  pour  $s = B$ , nous supposons une relation linéaire entre  $Qi(A)$  et  $Qi(C)$ , et nous utilisons  $SA = 1$ ,  $SB = 2$ ,  $SC = 3$ ,  $SD = 4$ ,  $SE = 5$ , et  $SF = 6$ . Ensuite,

$$Qi(B) = \frac{Plow}{Pave} + \frac{(SB-SA) \cdot \left(1 - \frac{Plow}{Pave}\right)}{SC-SA} \quad (II.7)$$

Pour déterminer les valeurs de  $Qi$  pour  $s = D$  et E, on suppose une relation linéaire entre  $Qi(C)$  et  $Qi(F)$ . Ensuite,

$$Qi(D) = 1 + \frac{(SD-SC) \cdot \left(\frac{Phigh}{Pave} - 1\right)}{SF-SC} \quad (II.8)$$

$Qi(E)$  est calculé comme  $Qi(D)$  par l'utilisation de SE à la place du SD dans la Formule (II.8). La Figure II.5 montre les différentes valeurs de  $Qi$  selon les différentes valeurs de  $Plow$  et  $Phigh$  ;

Cas 1.  $Plow = Pave / 10$ , and  $Phigh = 10 \cdot Pave$ ,

Cas 2.  $Plow = Pave / 5$ , and  $Phigh = 5 \cdot Pave$ ,

Cas 3.  $Plow = Pave / 3$ , and  $Phigh = 3 \cdot Pave$ ,

Cas 4.  $Plow = Pave / 2$ , and  $Phigh = 2 \cdot Pave$ ,

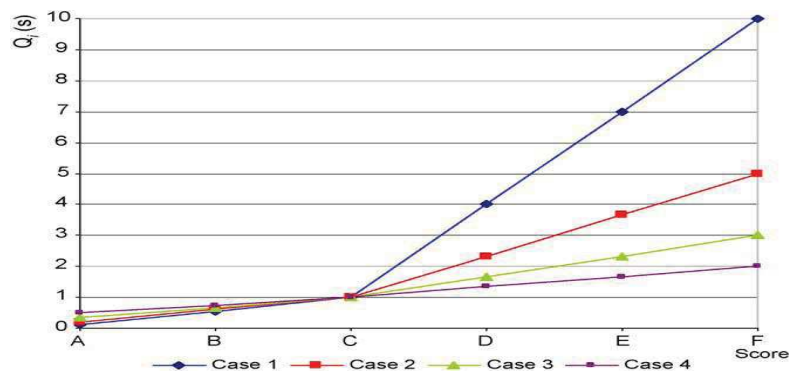


Figure II.5 : Les valeurs de  $Qi$  en fonction de différentes valeurs de  $Plow$  et  $Phigh$

### II.3.11. Recalcul du risque

La dernière étape de la méthodologie BORA consiste à déterminer le risque spécifique de la plate-forme de production d'hydrocarbures, par l'application des données d'entrées spécifiques de la plate-forme ( $Prev(A)$ ) pour tous les événements dans le modèle de risque.

L'utilisation de ces résultats des données d'entrée révisées en image de mise à jour d'un risque comprenant l'analyse de l'effet de la performance des barrières de sécurité introduit pour prévenir la conséquence indésirable .

L'image révisée du risque prend les conditions spécifiques de la plate-forme en l'occurrence, les conditions techniques, humaine, opérationnelle et organisationnelle [4].

### II.4. Conclusion et recommandations

Traditionnellement, aucun ajustement n'a été effectué sur la base du nombre d'opérations de travail, malgré le fait que plus de 50% des fuites dont le débit à la brèche est au-dessus de 0,1kg/s sont dues à l'intervention de l'opérateur [13]. Il peut en revanche faire valoir que les fréquences de fuites dues à des erreurs opérationnelles implicitement sont incluses, si les fréquences de fuite qui en résultent sont ajustées en fonction de la fréquence de fuite globale pour l'installation.

Dans BORA, l'analyse qualitative comprend la construction des arbres des événements, les diagrammes block barrière, les arbres de défaillance et l'identification des RIF et leurs poids. La présente étude de cas a inclus le confinement de fonction de la barrière (prévention des conséquences) ainsi que certaines conséquences des fonctions des barrières.

L'analyse quantitative de la méthode BORA peut être utilisée pour apprécier combien les différents facteurs influencent la fréquence de la conséquence indésirable. En outre, la méthode BORA peut être utilisée pour calculer l'effet des mesures de réduction des risques.

Des études de cas réalisées avec l'approche proposée ont démontré le potentiel de la méthodologie et comment elle peut être utilisée.

- Elle est pratique et pas difficile à comprendre
- Elle a montré que la meilleure mise en œuvre concrète peut être atteinte par une combinaison des plusieurs sources d'entrée, jugements d'expert, et implication du personnel d'exploitation.
- La méthode est utile pour l'identification d'actions préventives et correctives pour réduire les risques grâce à la sensibilité des études.

Une description de la méthodologie généralisée est en cours de préparation pour une application plus large.

### II.5. Références bibliographiques:

- [1] Vinnem, J.E., Seljelid, J., Haugen, S. and Husebø, T., 2007. *Analysis of Hydrocarbon Leaks on Offshore Installations, paper to be presented at ESREL2007, Stavanger, Norway* 25–27 June, 2007
- [2] Haugen et al. (2007) *BORA methodology report*, Report200254-07, 29.1.2007, Preventor AS, Norway
- [3] Jorunn Seljelid, Safetec, Snorre Sklet, Sintef, Jan Eric Vinnem, Preventor /Uis : *Operational risk analysis Total analysis of physical and non-physical barriers BORA Handbook ; report N°200254-08, 29.06.2007*
- [4] Aven, T., Sklet, S., and Vinnem, J.E. 2006. *Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORARelease); Part I Method description*, Journal of Hazardous Materials, A137, 681–691
- [5] Sklet, S., *Safety barriers; definition, classification, and performance*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Submitted for publication (2005).
- [6] Rausand, M. and Høyland, A., *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*, Wiley-Interscience, Hoboken, N.J., 2004.
- [7] OREDA, *Offshore Reliability Data Handbook 4th Edition (OREDA 2002)*, SINTEF, Trondheim, Norway, 2002.
- [8] Swain, A. D. and Guttman, H. E., *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications: Final report NUREG CR- 1278*,

SAND80-200, Sandia National Laboratories Statistics Computing and Human Factors Division, Albuquerque, 1983.

[9] Basra, G., Gibson, H. and Kirwan, B., *Collection of Offshore Human Error Probability Data*, Phase 2, Volume 1: Offshore Drilling Data, Health & Safety Executive, 1998.

[10] Basra, G., Gibson, H. and Kirwan, B., *Collection of Offshore Human Error Probability Data*, Phase 2, Volume 2: Permit to Work data, Health & Safety Executive, 1998.

[11] ROSS-website, Data Sources for Risk and Reliability Studies, <http://www.ntnu.no/ross/info/data.php>,

[12] Stein Haugen. (2005). *Lecture materials on risk analysis in NTNU.Norway*.

[13] Vinnem, J.E., Aven, T., Husebø, T., Seljelid, J. and Tveit, O. (2006) *Major hazard risk indicators for monitoring of trends in the Norwegian offshore petroleum sector. Reliability Engineering & Systems Safety, Volume 91, Issues 7, July 2006, 778-791*

[14] O. Thomassen, M. Sørsum, *Mapping and monitoring the technical safety level*, SPE 73923, 2002.



Application de la  
méthodologie  
BORA à un  
système  
opérationnel

## **CHAPITRE III**

### III.1. Introduction

L'analyse des risques par la méthode BORA exige la présence de certaines données et informations sur les différents paramètres d'évaluation des risques telles que, les fréquences des événements initiateurs, les données physico-chimiques du système, les probabilités de défaillance des différentes barrières de sécurité existantes et aussi l'identification des RIF avec l'affectation des poids et scores [1,2].

Ces données s'obtiennent généralement à partir de l'historique du système (REX). En l'absence ou par manque de données de l'état du système, on fait appel à d'autres sources telles que, les banques de données et les jugements d'experts [3,4]. Le choix des données se fait en respectant l'adaptation de ces données au système étudié on se basant sur son historique et sur des systèmes similaires ayant le même mode de fonctionnement.

Dans cette partie expérimentale, la méthode BORA est appliquée à un système opérationnel (four de chauffe d'huile 06-H321A) au niveau de l'unité de traitement de gaz BP/SH/STAOIL d'In Amenas.

### III.2. Application de la méthodologie BORA au four 06-H321A

Une collecte des informations pertinentes sur le système étudié est une étape très importante dans notre analyse.

#### III.2.1. Collecte des informations pertinentes

Avant de passer à l'analyse qualitative et quantitative du système d'huile chaude, on doit d'abord passer par une description du système étudié, collecte de données techniques sur le système analysé, et les différents systèmes de contrôle, de protection et les soupapes de sécurité.

#### A. Système d'huile chaude

Le but du système d'huile chaude est de fournir une source de chaleur chaude aux moyens de chauffage pour le système du procédé et d'utilité suivant:

1. Rebouilleur de la colonne de stabilisation 01/02/03-E-221A/B
2. Rebouilleur du débutaniseur 01/02/03-E-231
3. Réchauffeur du gaz de régénérateur 01/02/03-E-121
4. Rebouilleur du déethaniseur 01/02/03-E-151
5. Rebouilleur du régénérateur de l'amine 01/02/03-E-115
6. Réchauffeur du fuel gaz a l'huile chaude 06-E-301

Le système de l'huile chaude est constitué d'un réservoir et d'un système de circulation pour l'huile chaude ou le milieu de transfert de chaleur. L'huile chaude est à son tour chauffée par récupération de la chaleur à partir des gaz d'échappements des turbines à gaz qui entraînent les compresseurs du gaz résiduel. En plus, deux fours de chauffe de l'huile chaude 06-H-321A/B fournissent un chauffage supplémentaire en cas où tous les moyens de chauffage sont insuffisants pour la charge du procédé.

L'huile chaude est fournie à la majorité des utilisateurs à la température de 288°C et revient au ballon tampon à une température de 187°C.

Les équipements suivants sont inclus dans le système de l'huile chaude :

- Bac de stockage de l'huile chaude 06-T-321
- Pompe de transfert de l'huile chaude 06-P-322
- Ballon tampon de l'huile chaude 06-V-321
- Pompe de circulation de l'huile chaude 06-P-321A/B/C
- Filtre de l'huile chaude 06-V-323
- Récupérateur de chaleur des turbines pour l'huile chaude 06-H-322A/B/C
- Four de chauffe de l'huile chaude 06-H-321A/B
- Aéro-réfrigérant de l'huile chaude 06-E-322
- Ballon de collecte des purges de l'huile chaude 06-V-322
- Pompe de transfert de l'huile chaude 06-P-322

L'ensemble du système de l'huile chaude est localisé dans la zone de feu 150B du plan d'implantation et adjacent au ballon de collecte de purge des hydrocarbures.

### **B. Données techniques sur le système analysé**

L'huile chaude passe à partir du collecteur de retour des récupérateurs de chaleur des turbines pour l'huile chaude vers le collecteur de distribution de l'admission de chaque récupérateur de chaleur des turbines pour l'huile chaude.

Le four de chauffe de l'huile chaude 06-H-321A est de four chauffé directement au gaz. L'huile chaude à une température de 271°C à partir du collecteur de distribution d'admission passe à travers de multiples serpentins de chauffage et chauffé jusqu'à une température de 288°C par les gaz de combustion des brûleurs de fuel gaz. Cette huile chaude passe du serpentin de chauffage au collecteur de refoulement et ensuite à travers un débit mètre type orifice au collecteur commun d'alimentation de l'huile chaude.

Des arrangements de vanne de purge et à double isolement sont fournis sur la ligne d'entrée et sortie de l'huile chaude vers des fours pour permettre l'isolement en cas de maintenance. Un raccordement de purge est fourni sur le collecteur d'entrée de l'huile chaude en aval de l'isolement de l'entrée et un raccordement pour drainage est fourni sur la ligne de sortie.

L'huile chaude circule dans le collecteur d'alimentation à une pression de 12 bar vers le système de distribution de l'huile chaude. Une partie de l'huile chaude du collecteur d'alimentation est détournée par une ligne de dérivation et traverse la vanne de contrôle de température 06-TV-3240 vers l'aéro-réfrigérant de l'huile chaude 06-H-322.

### C. Description du four

- **Type:** Four à tirage naturel
- **Service:** 36.2 x 106 kcal/hr
- **Conditions de Design côté tube:** 27.0 bar, 343°C
- **Perte de charge:** 2.0 bar

Le four a six passages de débit sur le côté tube. Chaque passage a une mesure locale de débit 06-FI-3201A/.. /F à l'admission du four. Un robinet à soupape est placé en aval de l'indicateur de débit pour permettre à de faibles ajustements pour écoulement.

L'huile chaude dans chaque passage traverse les sections de chauffage par convection et par radiation du four et puis au collecteur de sortie, (Voir figure 3.1).

#### ➤ Systèmes de Contrôle

La température de l'huile chaude quittant le four est contrôlée à la valeur désirée pour s'assurer que les puissances de chauffage du procédé seront atteintes et pour éviter de surchauffer l'huile.

La température de sortie de l'huile chaude est mesurée par le transmetteur de température 06-TT-3210 (06-H-321A) / 06-TT-3260 (06-H-321B) et commandée par le contrôleur de température 06-TIC-3210 (06-H-321A) / 06-TIC-3260(06-H-321B). Pendant le fonctionnement normal, le signal de sortie de 06-TIC-3210/3260 fourni un point de réglage à distance destiné aux contrôleurs de débit de fuel gaz 06-FIC-3203 (06-H-321A) / 06-FIC-3253(06-H-321B). Cet arrangement de régulation en cascade assure un contrôle plus stable de débit du fuel gaz vers les brûleurs.

Le débit de l'huile chaude à la sortie des fours 06-H-321A et 06-H-321B est mesuré respectivement par un débitmètre à orifice 06-FT-3200A et 06-FT-3250A. Les

régulateurs de débit 06-FIC-3200A et 06-FIC-3200B de CMS peuvent être utilisés dans le but de contrôler le débit de l'huile à travers l'un ou l'autre des fours, par l'ajustement des vannes de contrôle de débit d'admission de l'huile chaude 06-FV-3200 et 06-FV-3250 sur 06-H-321A et 06-H-321B respectivement. Pendant le fonctionnement normal, on s'attend à ce que les deux régulateurs de débit soient maintenus en mode manuel avec les vannes de contrôles de débit entièrement ouvertes. La pression du fuel gaz vers le pilote du four de chauffe de l'huile chaude est contrôlée par une vanne de contrôle de pression autorégulatrice 06-PCV-3201(06-H-321A) /06-PCV-3251(06-H-321B) réglé à 0.5 bar.

Le débit à travers le brûleur principale est contrôlé par le contrôleur de débit du CMS 06-FIC-3203 (06-H-321A) / 06-FIC-3253 (06-H-321B), qui règle la vanne de débit 06- FV-3202 (06- H-321A) / 06-FV-3251(06-H-321B).

La vanne autorégulatrice de pression 06-PCV-3200 (06-H-321A) / 06-PCV-3250(06-H-321B) est réglée à une pression de consigne de 0.07 bar, elle est placée à travers le by-pass de la vanne de contrôle de débit pour l'allumage minimum des fours.

### ➤ **Systemes de protection**

Pour maintenir les paramètres de fonctionnement dans la marge désirée en cas de défaillance du système de contrôle, les fours de chauffe de l'huile chaude Sont protégés contre les perturbations par les équipements suivants :

- 06-FT-3200B/3250B (LL1) Débit de l'huile chaude très bas 06-H-321A/B
- 06-FT-3200B/3250B (LL2) Débit de l'huile chaude très bas 06-H-321A/B
- 06-TT-3211/3261(HH) Température de l'huile chaude très élevée 06-H-321A/B
- 06-TT-3219/3269(HH) Température de la cheminée très haute 06-H-321A/B
- 06-PT-3224/3274(HH) Pression très haute dans la chambre de rayonnement 06- H-321A/B

Les fours de chauffe de l'huile chaude sont protégés en cas de défaillance de système de carburant, par les dispositifs suivants connectés directement au système de gestion de brûleur (BMS):

06-PT-3202/3252(LL) Pression d'alimentation de fuel gaz à la veilleuse 06-H-321A/B  
06-PT-3215/3265(HH) Pression d'alimentation de fuel gaz au brûleur principal, 06-H-321A/B  
06-PT-3215/3265(LL) Pression d'alimentation de fuel gaz aux brûleurs 06-H-321A/B

### ➤ Soupapes de sécurité

Les fours de chauffe de l'huile chaude sont protégés contre la surpression due à la dilatation thermique des fluides piégés par les soupapes de sécurité de pression suivantes:

- 06-PSV-3222A et 06-PSV-3222B sur la sortie de l'huile chaude à partir de 06-H-321A
- 06-PSV-3272A et 06-PSV-3272B sur la sortie de l'huile chaude à partir de 06-H-321B

Ces soupapes de sécurité sont placées pour décharger à la pression de conception côté-tube et de purger de l'huile chaude vers le ballon tampon de l'huile chaude 06-V-321.

Pendant le fonctionnement normal seulement une PSV est placée en service pour chaque four, permettant l'entretien ou le test de l'une ou l'autre des soupapes de sûreté.

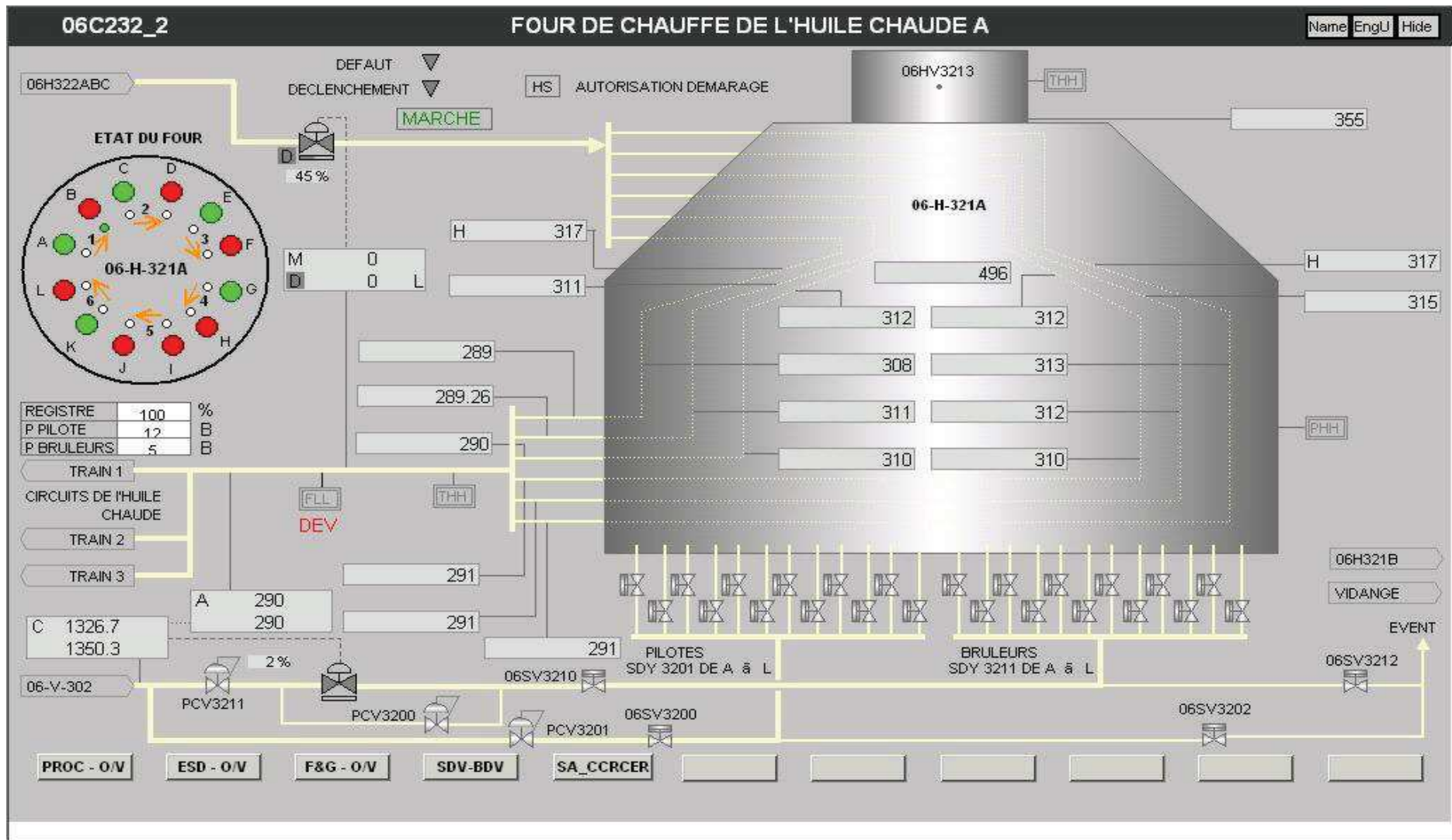


Figure III.1: Four de chauffe d'huile 06-H321-A

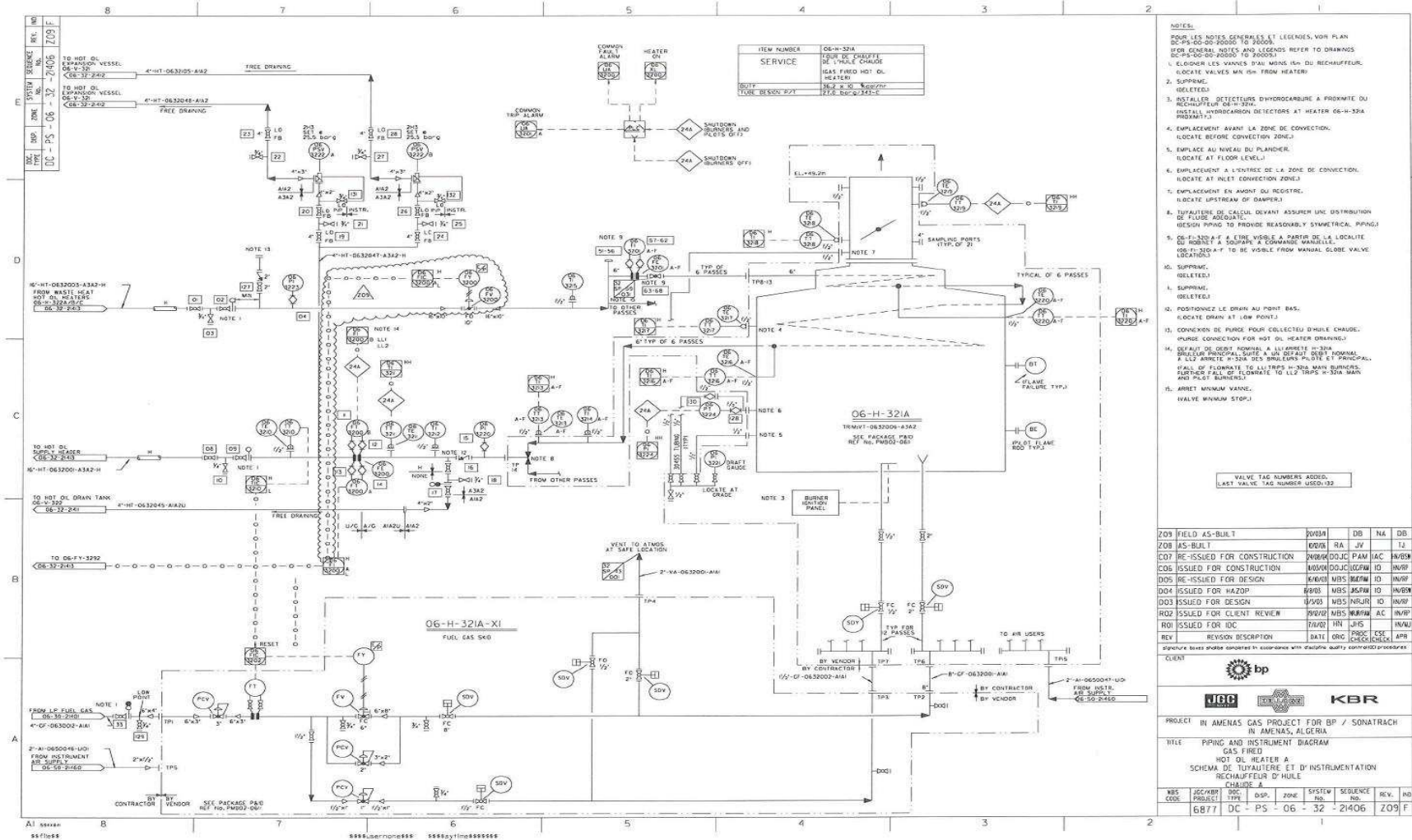


Figure III.2: P&ID 21406 de Four de chauffe d'huile 06-H321-A (circuit d'huile)



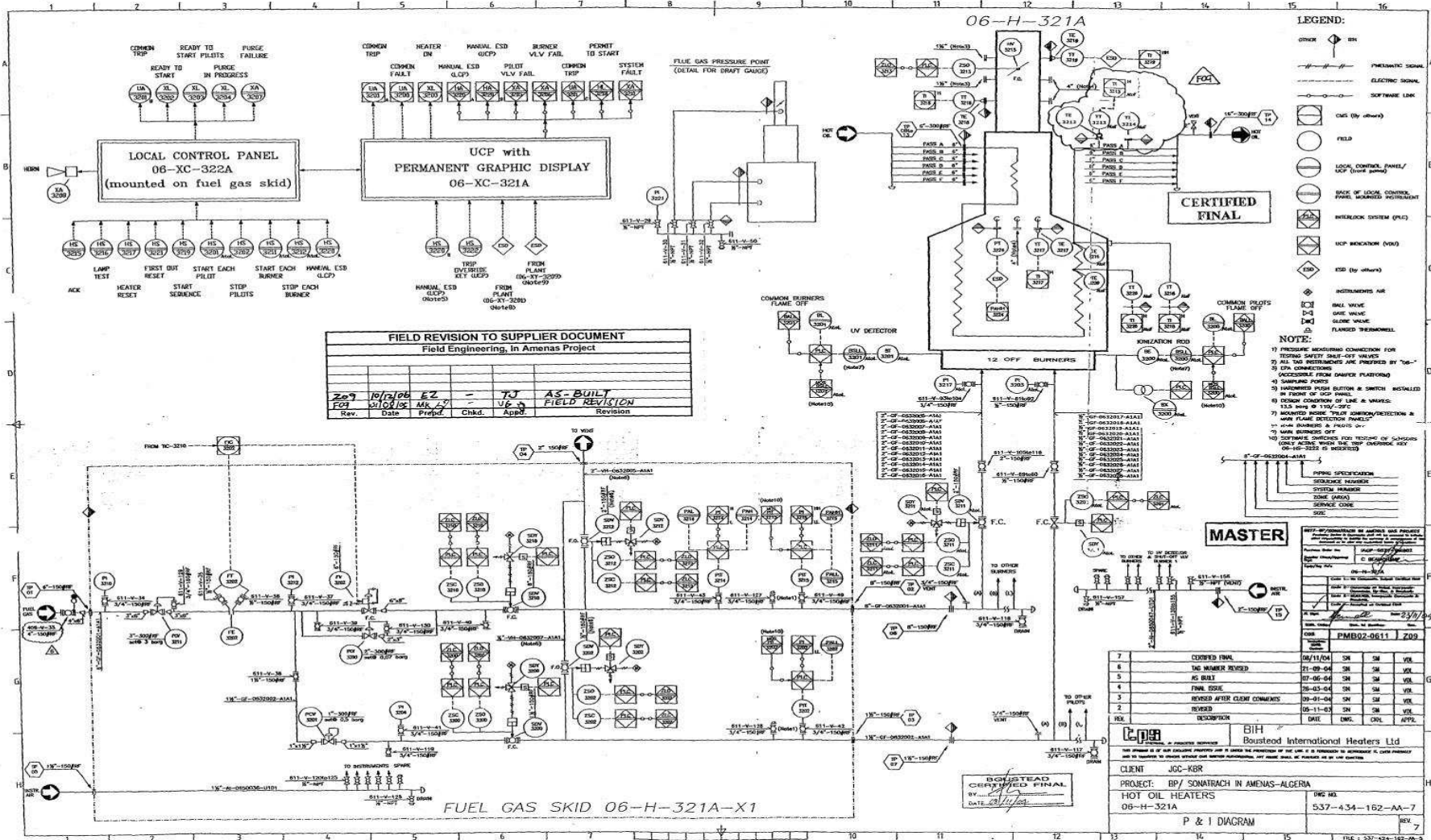


Figure III.3: P&ID 0611 de Four de chauffer d'huile 06-H321-A (circuit de gaz)

## D. Données physico-chimique de l'huile utilisée

Le milieu de chauffage doit avoir de bonnes propriétés de transfert thermique et stabilité thermique aux températures de fonctionnement.

Le milieu de chauffage choisi est Torada TC-32 et a les propriétés suivantes dans le tableau (III.1):

*Tableau III.1 : les données physico-chimiques d'huile utilisée*

Propriétés	Valeurs
Densité à 15°C	0.850 – 0.858
Viscosité à 40°C	28.8.E-6 m <sup>2</sup> /s (approximativement)
Viscosité à 300°C	0.67. E-6 m <sup>2</sup> /s
Chaleur spécifique à 300°C	0.690 kcal/kg °C
Conductivité thermique 288 au ° C	0.114 kcal/m-h-°C
Point de congélation	-9°C
Point d'inflammabilité	200°C
Température d'auto-allumage	375°C
Index de neutralisation	0.03 mg KOH/gr.-max
Teneur en soufre	0.03 wt% max.
Teneur en eau	100 ppm max.

### III.3. Identification du système

On utilise la méthode SADT :

#### III.3.1. Objectifs

« SADT permet non seulement de décrire les tâches du projet et leurs interactions, mais aussi de décrire le système que le projet vise à étudier, créer ou modifier, en mettant notamment en évidence les parties qui constituent le système, la finalité, le fonctionnement de chacune, et les interfaces entre les diverses parties partie qui font qu'un système n'est pas une simple collection d'éléments indépendants, mais une organisation structurée de ceux-ci dans une finalité précise. » [5].

- Méthode d'analyse fonctionnelle et de gestion de projets
- Spécification de n'importe quel système

- Démarche d'analyse structurée qui identifie et organise les détails d'un système qu'on veut appréhender suivant une hiérarchie de modèles parfaitement référencée.

### III.3.2. Modèles

- Actigrammes (i.e. diagrammes d'activités), (Voir figure III.4).
- Datagrammes (i.e. diagrammes de données), (Voir Figure III.5).

Chaque diagramme doit obligatoirement être accompagné d'une annexe descriptive contenant:

- Textes explicatifs sur les diagrammes
- Diagrammes « pour explication seulement »
- Glossaires des principaux termes employés

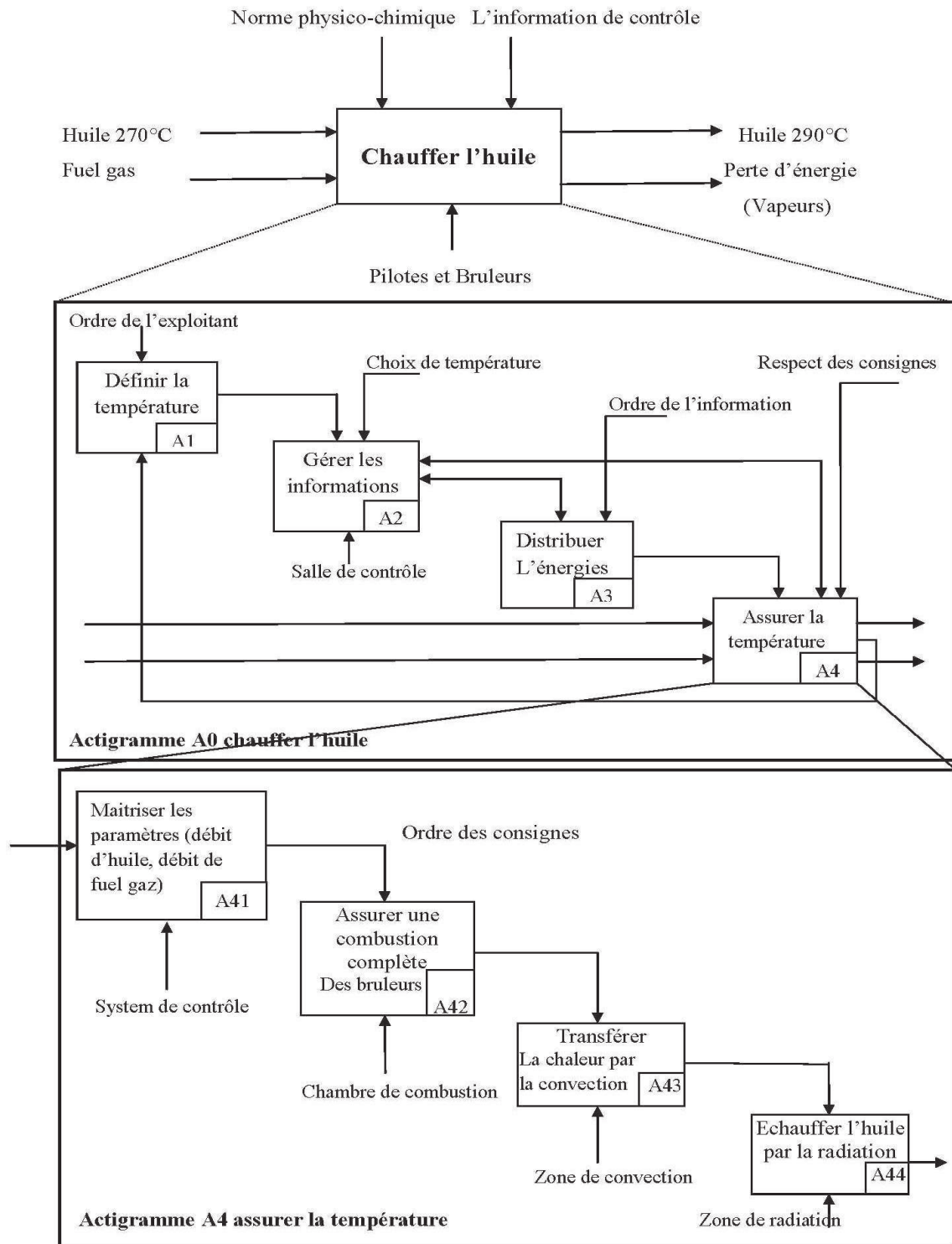


Figure III.4 : Actigramme de four 06-H321A

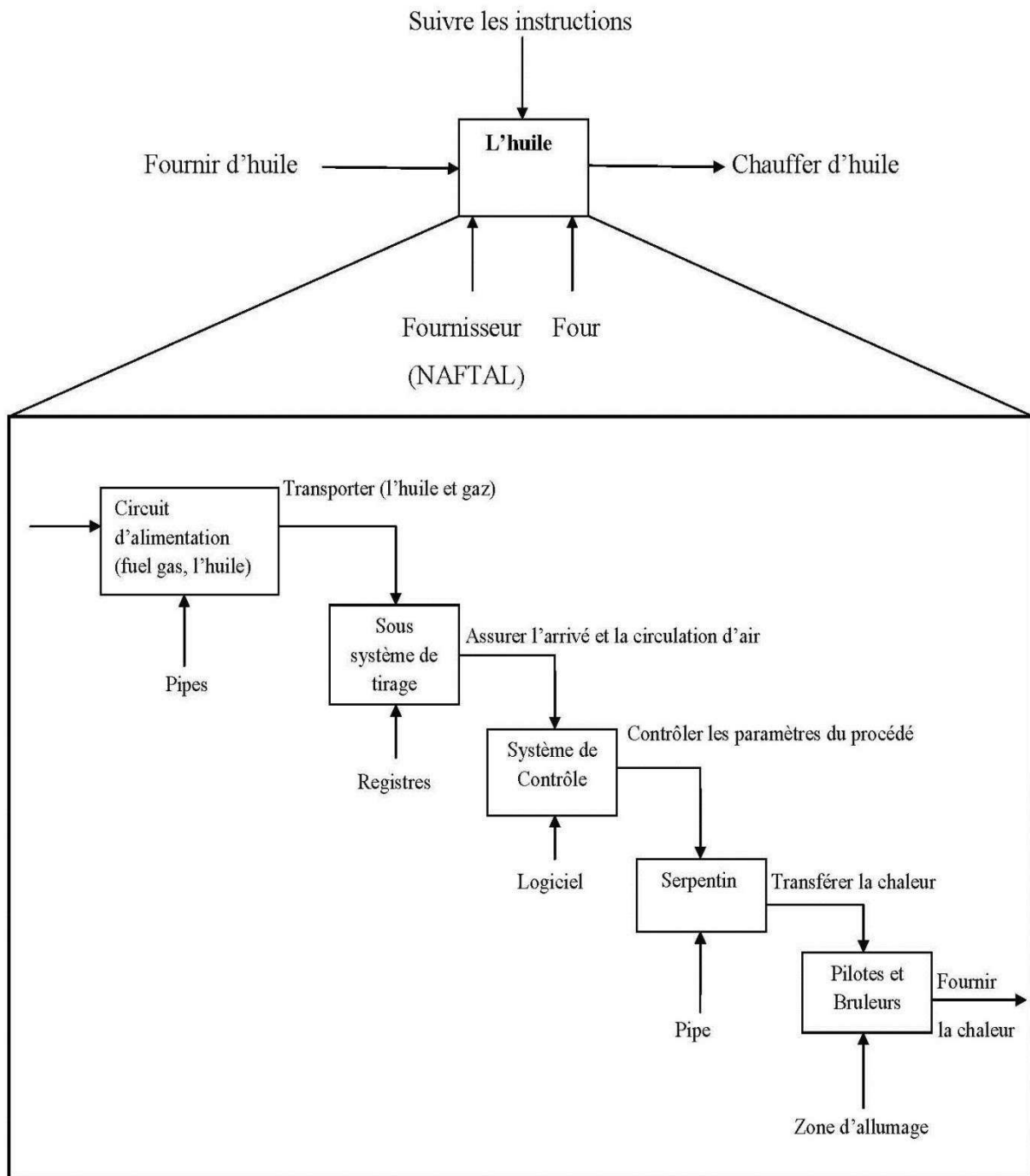


Figure III.5 : Datagramme de Four 06-H321A

### III.4. Identification des évènements initiateurs liés à ses tâches

L'identification des scénarios de dangers liés au four de chauffe d'huile 06-H-321-A est faite par la méthode HAZOP [6]. Cette méthode nous a permis d'analyser les différentes déviations des paramètres de fonctionnement du Four 06-H321-A à savoir la pression, la température, le débit et de déterminer leurs causes, conséquences et les mesures de sécurité mise en place pour protéger le four de ces déviations. Un exemple des déviations relatives aux paramètres débit est donné par le tableau (III.3).

Le tableau (III.2) montre les scénarios d'accidents retenus pour une évaluation par la méthodologie BORA. Et la figure III.6 résume le système de chauffe d'huile et les différentes barrières de sécurité incluses au système étudié.

**Tableau III.2 : évènements initiateurs retenus**

Scénario	Evènement initiateur	Conséquence
<b>A</b>	Défaillance de boucle de régulation de débit d'huile chaude	Haute température d'huile à la sortie du four 06 H321-A & incendie possible
<b>B</b>	Erreur humaine pendant le démarrage du four (échec d'ouvrir le registre situé dans la cheminée du four).	Haute pression à l'intérieur du four 06 H321-A & explosion possible
<b>C</b>	Erreur humaine pendant maintenance : mauvais cirage de bride entraine une fuite	Basse pression au niveau des pipes & boule de feu possible

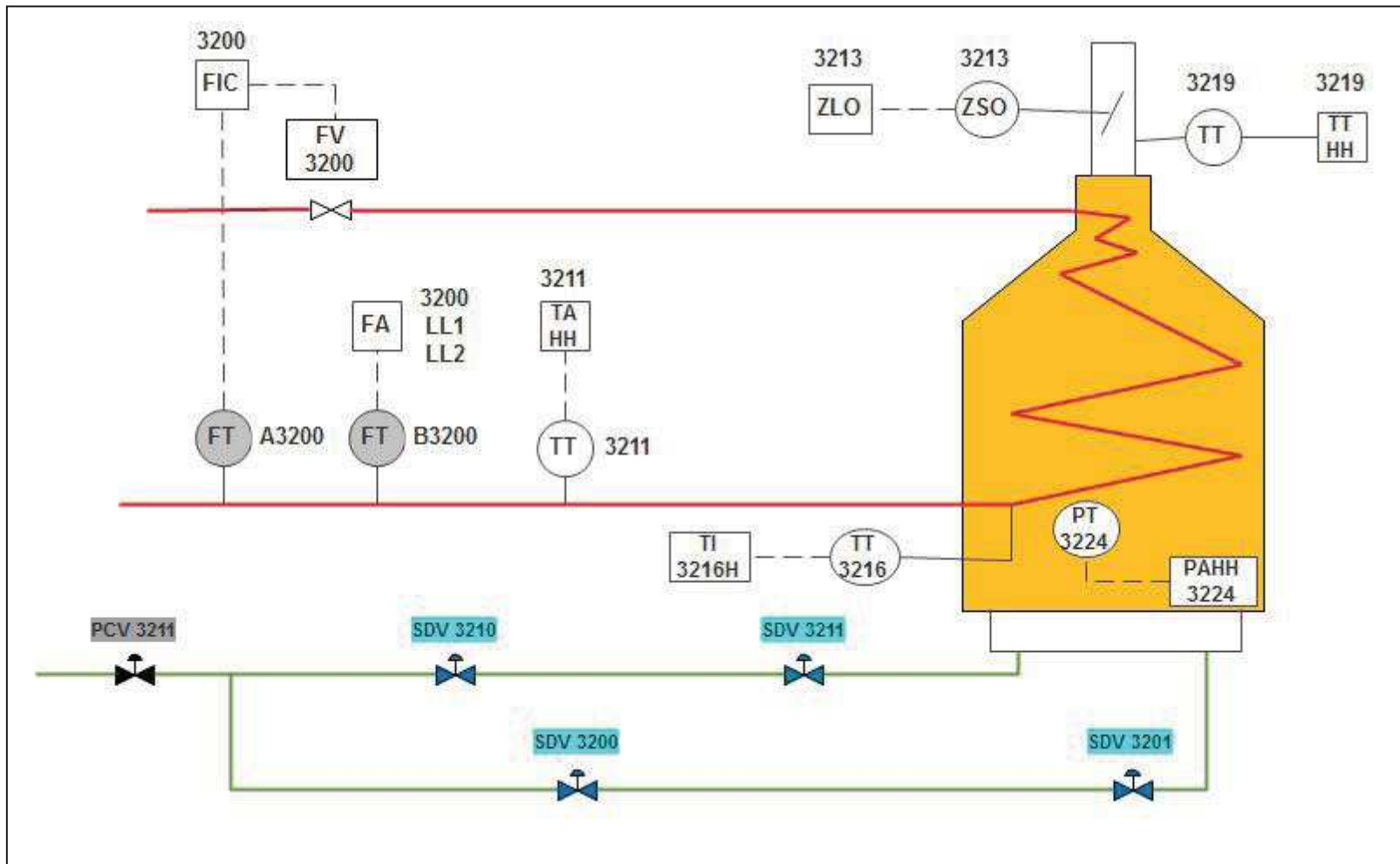


Figure III.6 : Système de chauffe d'huile

Tableau III.3 : Application de la méthode HAZOP : Cas du paramètre Débit

Système étudié : Four de chauffe d'huile 06-H321-A						
Paramètre	Mot-guide	Déviations	Causes possibles	Conséquences	Sécurités existantes	Recommandation
Débit	Moins/pas de	Débit bas d'huile chaude	Défaillance de la boucle de régulation FIC-3200A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute température d'huile à la sortie</li> <li>- Haute température au niveau du four 06-H321-A</li> <li>- Activation de l'alarme TI-3216H</li> <li>- Endommagement du serpentín</li> <li>- Incendie &amp; arrêt du process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection primaire de débit FALL1-3200B</li> <li>- Alarme haute température TI-3216</li> <li>- Intervention humaine</li> <li>- Arrêt d'urgence (SIS)</li> <li>FALL2-3200B</li> <li>TAHH-3211 de circuit d'huile</li> </ul>	Procéder à l'installation des détecteurs de flammes dans la zone 06 du four avec système de déluge automatique pour limiter les conséquences d'incendie.



Système étudié : Four de chauffe d'huile 06-H321-A						
Paramètre	Mot-guide	Déviaton	Causes possible	Conséquences	Sécurités existantes	Recommandation
Débit	Moins/pas de	Débit bas d'air	Erreur humaine Mauvaise opération sur la vanne HV-3213 pendant le démarrage (Registre trop fermé)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustion incomplète</li> <li>- Haute température au niveau du four 06-H321-A</li> <li>- Activation de l'alarme TI-3217H</li> <li>- Haute pression au niveau du four 06-H321-A</li> <li>- Explosion &amp; arrêt de process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- système indication de position de registre</li> <li>- Alarme haute température TI-3217H</li> <li>- Opérateurs</li> <li>- Arrêt d'urgence (SIS)</li> <li>TAHH-3219 de cheminée</li> <li>PAHH-3224 de four</li> </ul>	

Tableau III.3: suite de présentation HAZOP

Système étudié : Four de chauffe d'huile 06-H321-A						
Paramètre	Mot-guide	Déviations	Causes possible	Conséquences	Sécurités existantes	Recommandation
Débit	Plus	Débit élevé de fuel gaz	Mauvaise fonctionnement de la vanne PCV-3211 (très ouverte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute pression de fuel gaz pour les bruleurs (Haute long des flammes 5m)</li> <li>- Haute température d'huile à la sortie</li> <li>- Haute température au niveau du four 06-H321-A</li> <li>- Sollicitation des alarmes</li> <li>- L'endommagement de serpentins</li> <li>- Incendie &amp; arrêt du process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarme plus de débit PI-3214H</li> <li>- Opérateurs</li> <li>- Protection de débit très élevé PI-3215</li> <li>- Alarme de haute température TI-3216 H</li> <li>- Protection de très haute température TAHH-3211 (SIS)</li> <li>- Alarme de haute température TI-3217</li> <li>- protection de très haute température de cheminée TAHH-3219</li> </ul>	

			<p>Défaillance de boucle de régulation FIC-3202</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute pression de fuel gaz pour les bruleurs (Haute long des flammes 5m)</li> <li>- Haute température d'huile à la sortie</li> <li>- Haute température au niveau du four 06-H321-A</li> <li>- Sollicitation des alarmes</li> <li>- L'endommagement de serpentín</li> <li>- Incendie &amp; arrêt du process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarme plus de débit PI-3214H</li> <li>- Opérateurs</li> <li>- Protection de débit très élevé PI-3215</li> <li>- Alarme de haute température TI-3216 H</li> <li>- Protection de très haute température TAAH-3211 (SIS)</li> <li>- Alarme de haute température TI-3217</li> <li>- protection de très haute température de cheminée TAAH-3219</li> </ul>	
--	--	--	---	--	---	--

Tableau III.3: suite de présentation HAZOP

Système étudié : Four de chauffe d'huile 06-H321-A						
Paramètre	Mot-guide	Déviaton	Causes possible	Conséquences	Sécurités existantes	Recommandation
Débit	Moins/pas de	Débit bas de gaz	Mauvaise cirage de bride situé en amont des détectrices basses pressions de gaz au niveau des pipes pendant maintenance (entraîner une fuite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dispersion de fuel gaz</li> <li>- basse pression au niveau des Pipes (situé en amont la fuite)</li> <li>- diminution de longueur des flammes</li> <li>- Boule de feu &amp; arrêt du process</li> <li>- Produit des effets thermique</li> </ul>	- système prévention contre fuites de gaz	

Tableau III.3: suite de présentation HAZOP

### III.5. Estimation des fréquences des évènements initiateurs

Les fréquences d'occurrence des évènements initiateurs présentées dans le tableau (III.4) sont tirées de la littérature [7] :

**Tableau III.4 : Fréquences des évènements initiateurs**

Evénements initiateurs	Fréquences (/an)	Remarques
1- Défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A	1,00E-01	Valeur unique
	1,3E-01	Calculée
2-Erreur humaine pendant le démarrage du four (échec d'ouvrir le registre situé dans la cheminée du four).	3,16E-02	Moyenne géométrique de l'intervalle [1,00E-1 ; 1,00E-2]
3- Erreur humaine pendant maintenance : mauvaise cirage de bride entraîné fuite	1,00E-02	Min de l'intervalle [1,00E-1 ; 1,00E-2]

### III.6. Identification des barrières et le développement de diagrammes block barrière

Les taux de défaillance des composants des systèmes barrières sont donnés par le tableau (III.5).

**Tableau III.5: Taux de défaillance des composants des systèmes barrières**

Composants	Taux de défaillance $\lambda/h$	Références
Transmetteur de pression (PT)	$3 \cdot 10^{-7}$	[3]
Transmetteur de débit (FT)	$6 \cdot 10^{-7}$	[3]
Transmetteur de température (TT)	$3 \cdot 10^{-7}$	[3]
Indicateur de température (TI)	$3 \cdot 10^{-6}$	[4]
Vanne de contrôle	$2.2 \cdot 10^{-6}$	[3]
Vanne d'arrêt d'urgence (SDV)	$15.92 \cdot 10^{-6}$	[4]
Unité logique de traitement	$7 \cdot 10^{-7}$	[3]
Indicateur de position (ZLO)	$4,57 \cdot 10^{-6}$	[4]
Transmetteur de position (ZSO)	$15,92 \cdot 10^{-6}$	[4]
Détecteur de gaz (DGR)	$1.43 \cdot 10^{-6}$	[4]
Facteur beta SDV	0.02	[4]
Facteur beta DGR	0.03	[4]

### III.7. Scénario A : Incendie au four 06H321-A

Le tableau III.6 fournit une description du scénario A. Il concerne notamment l'occurrence d'un incendie suite d'une défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A.

**Tableau III.6 : Description du scénario A**

<b>Nom du scénario :</b> Incendie au four (haute température d'huile à la sortie du four 06H321-A)	
<b>Description générale :</b> Incendie au four à cause d'une défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A.	
<b>Evènement initiateur :</b> Défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A	
<b>Fonctions de barrières :</b> L'incendie peut être prévenu si les fonctions de barrières suivantes sont réalisées : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eteindre les bruleurs</li> <li>• Alarme + intervention humaine</li> <li>• Eteindre les pilotes et bruleurs</li> </ul>	<b>Systèmes de barrières :</b> L'incendie peut être prévenu en présence des systèmes de barrières suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primaire prévention contre le niveau bas de débit d'huile (SIS)</li> <li>• Systèmes de surveillance de haute température</li> <li>• Secondaire prévention contre le niveau très bas d'huile (SIS)</li> <li>• Prévention contre température très haute (SIS)</li> </ul>

#### III.7.1. Développement de diagramme block barrière et arbres de défaillance

Un diagramme block barrière pour le scénario (A) est développé dans la figure III.7. Dans ce diagramme, plusieurs barrières de sécurité sont mises en œuvre telles que: Un système instrumenté de sécurité (SIS) qui assure une prévention contre le niveau bas de débit d'huile (A1), un système de surveillance de haute température (TI-3216H) (A2), Un second système instrumenté de sécurité (SIS) qui assure la prévention contre le niveau très bas d'huile (A3) et un troisième système instrumenté de sécurité (SIS) qui assure prévention contre température très haute (A4). Les figures III.8, III.9, III.10, et III.11 montrent les arbres de défaillances de chaque barrière de sécurité. En outre, des diagrammes d'influence de risque pour les événements de base liés aux défaillances de ces barrières sont aussi visualisés.

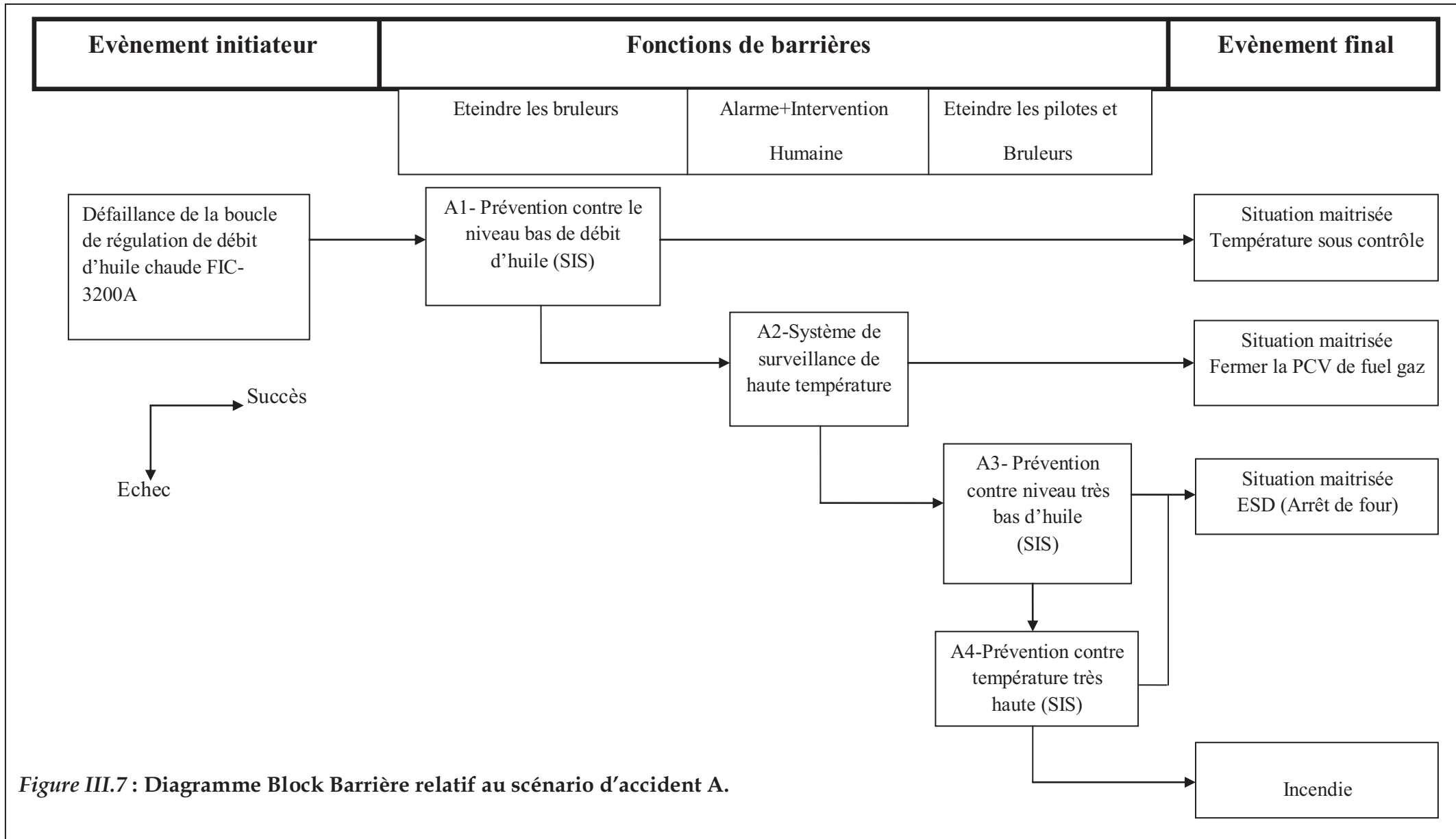


Figure III.7 : Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident A.

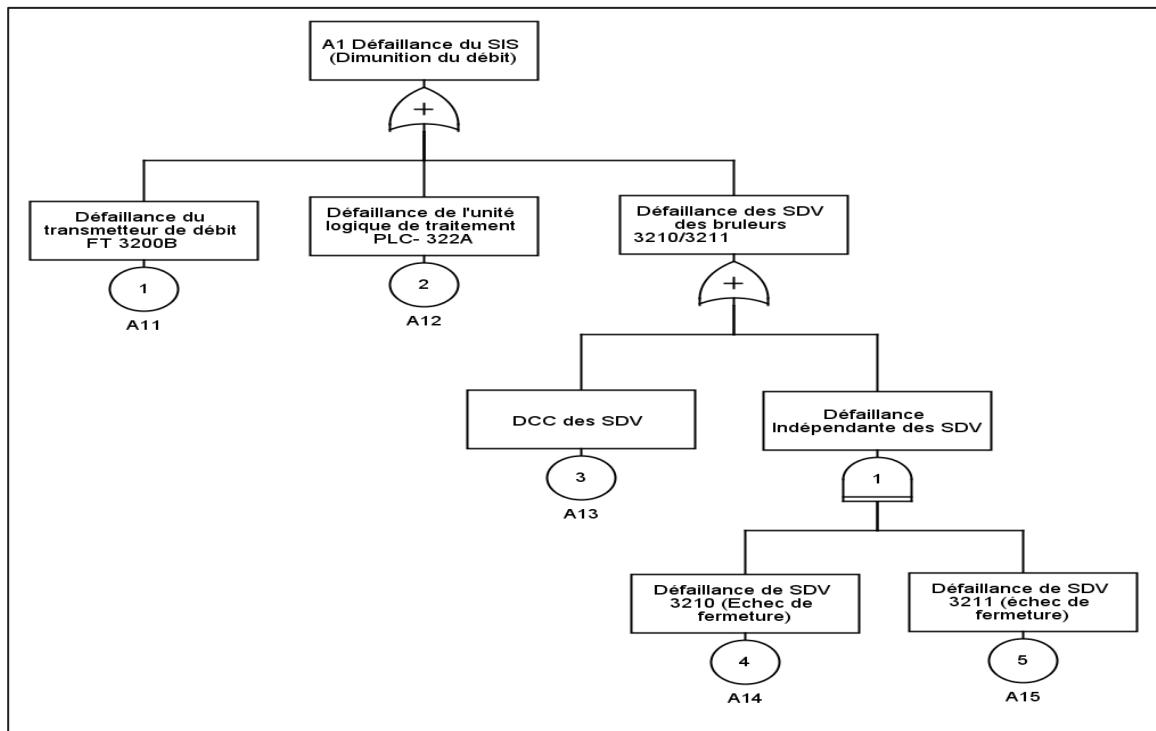


Figure III.8 : Arbres de défaillance de la barrière A1

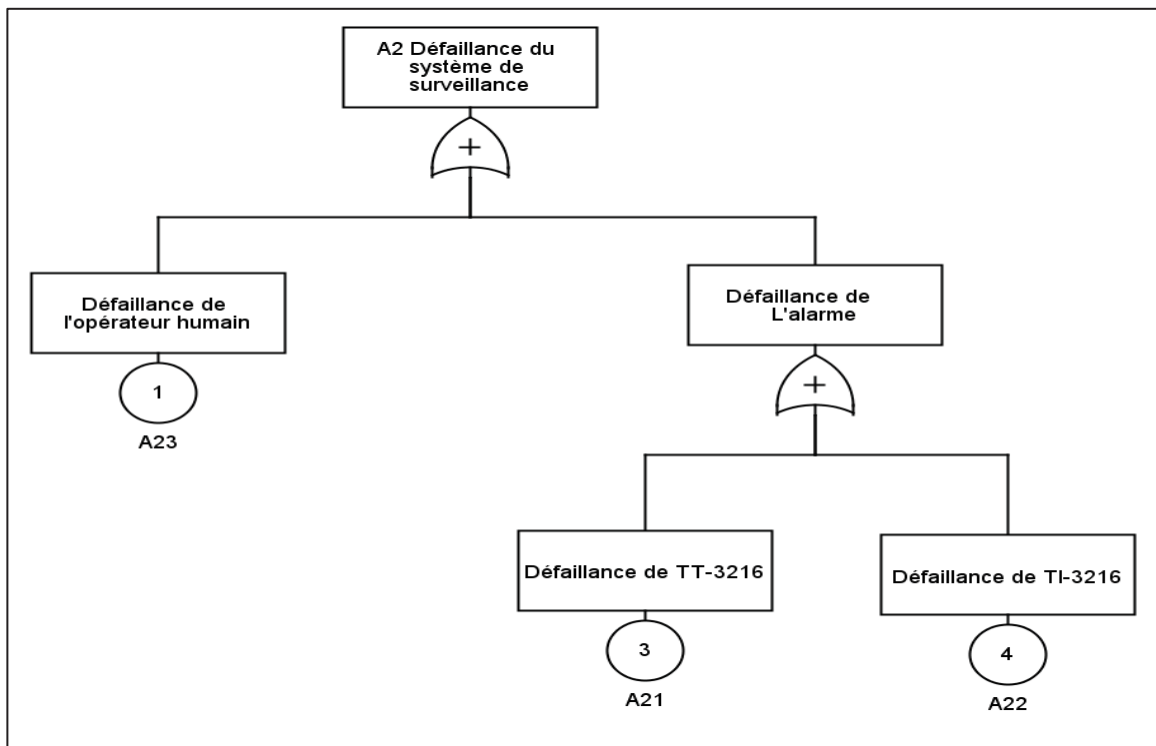


Figure III.9 : Arbres de défaillance de la barrière A2



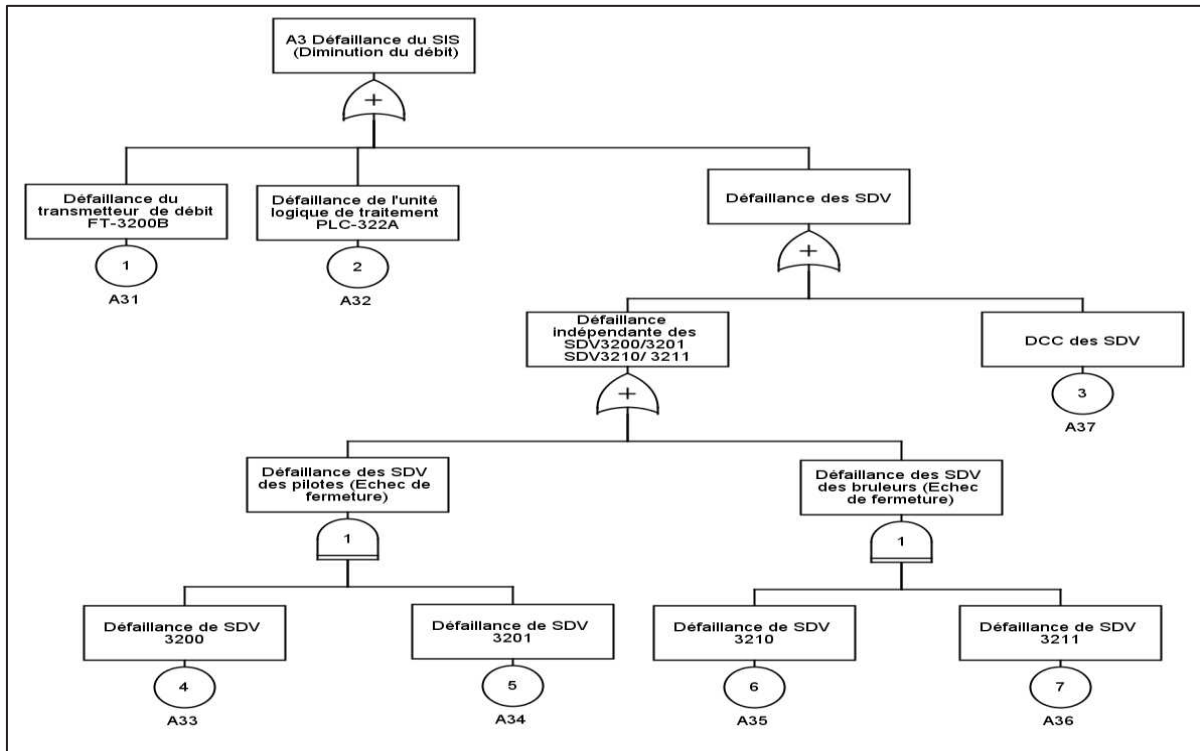


Figure III.10 : Arbre de défaillance de la barrière A3

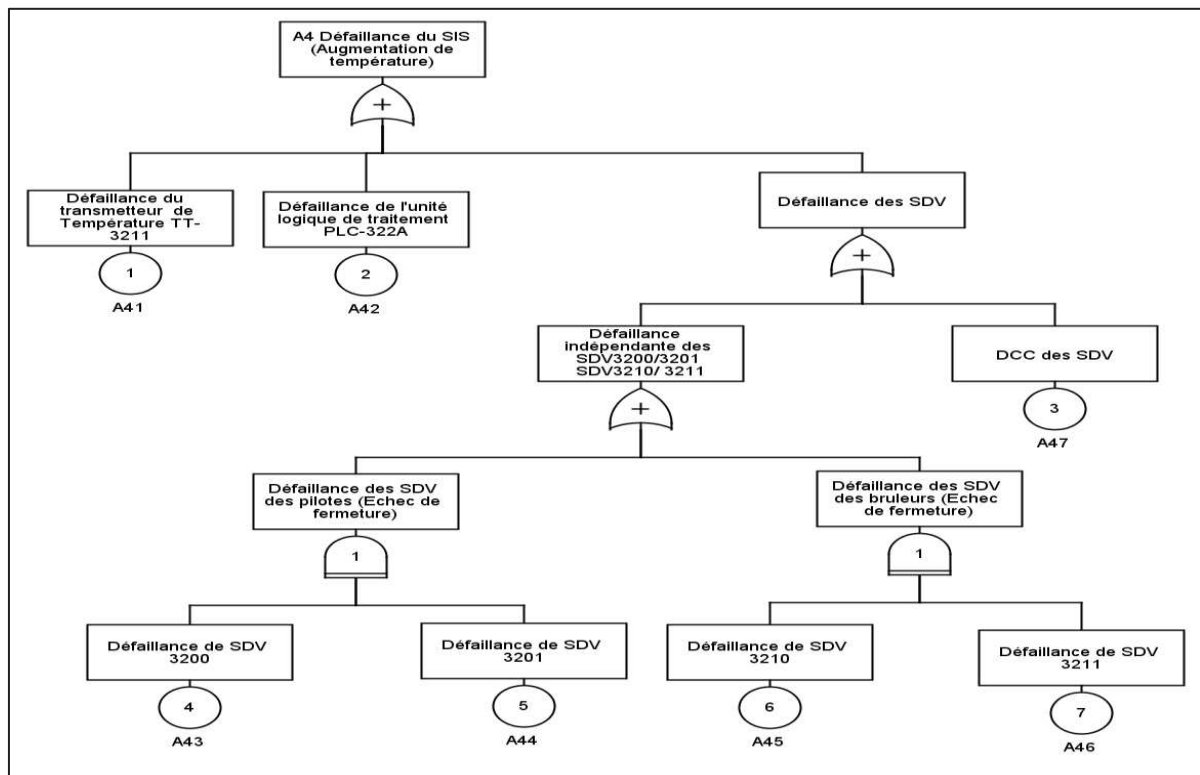


Figure III.11 : Arbre de défaillance de la barrière A4

### III.7.2. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières A1, A2, A3, A4 (Pave)

Après avoir développé les AdD de toutes les barrières sécurité, et à l'aide de l'outil GRIF et le tableau III.5 des taux de défaillance des composants des systèmes barrières ; on a calculé les probabilités moyennes (Pave) de ces événements, et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.10.

### III.7.3. Calcul de la fréquence moyenne Fave (A) de conséquence du scénario A

La fréquence de conséquence indésirable générique du scénario d'accident A est calculée en multipliant la fréquence de l'évènement initiateur et les probabilités de défaillance des barrières (PFD), l'équation dépendra de la forme de DBB, donc :

$$Fave (A) = Fave (A0) \cdot PFDave (A1) \cdot PFDave (A2) \cdot PFDave (A3) \cdot PFDave (A4) \quad (III.1)$$

$$Fave (A) = 2.00 E-8 (/an)$$

### III.7.4. Diagrammes d'influence des évènements initiateur et de base du scénario A

Les figures ci-dessous représentent les diagrammes d'influence de l'évènement initiateur A0 et les évènements de base liés aux défaillances des barrières de sécurité.

➤ Pour l'évènement initiateur A0 :

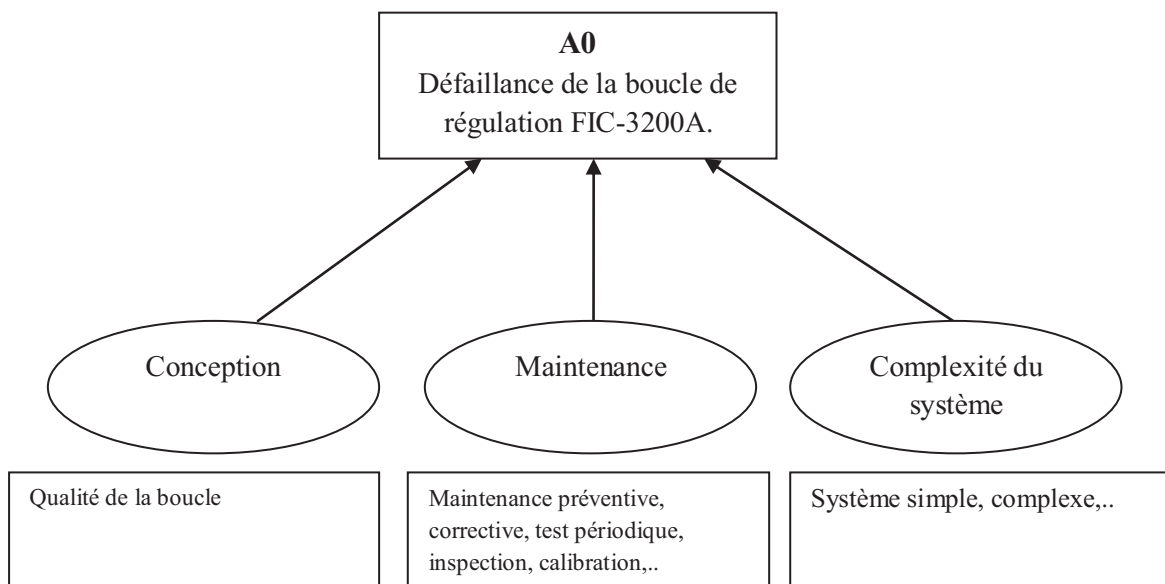


Figure III.12 : diagramme d'influence de l'évènement initiateur A0

➤ Pour la barrière A1 :

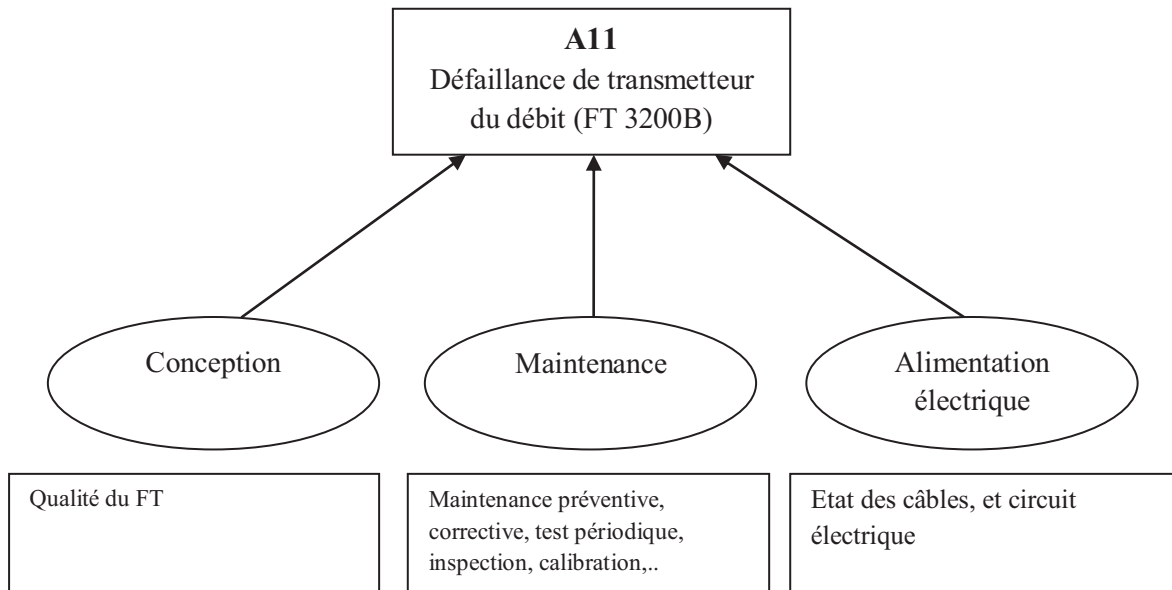


Figure III.13 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A11

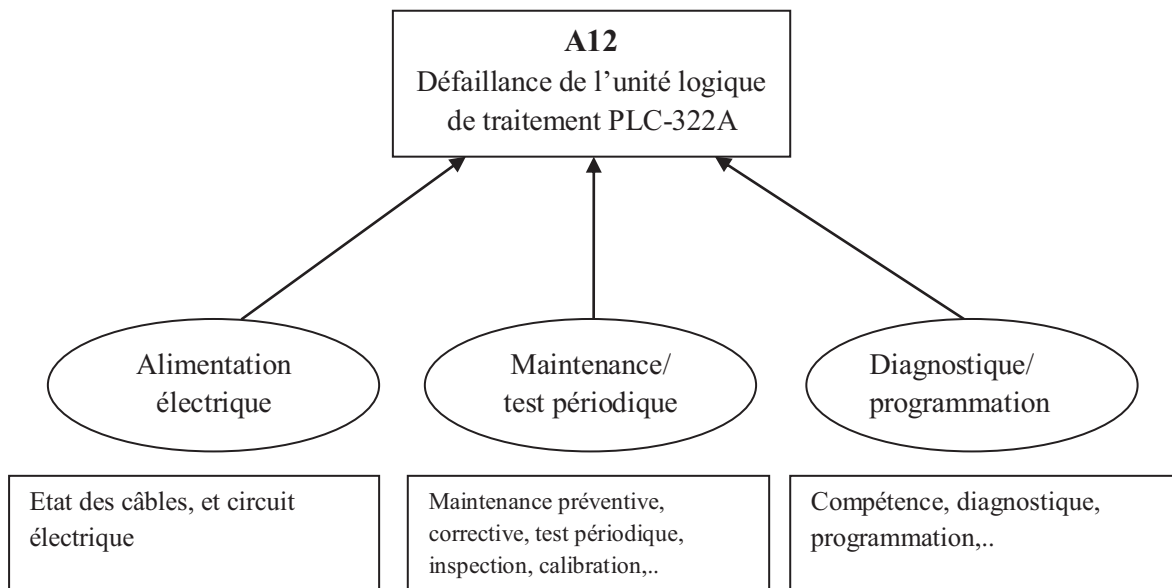


Figure III.14 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A12

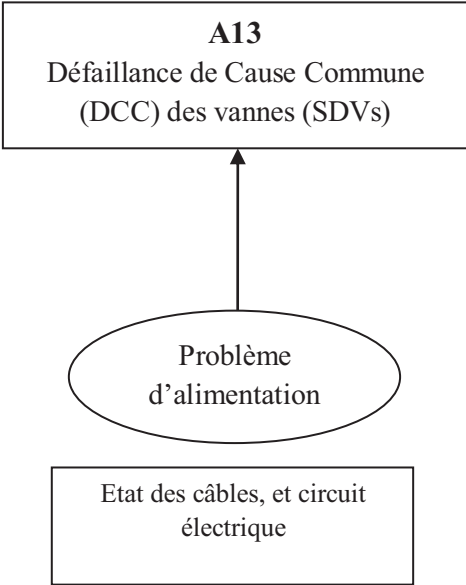


Figure III.15 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A13

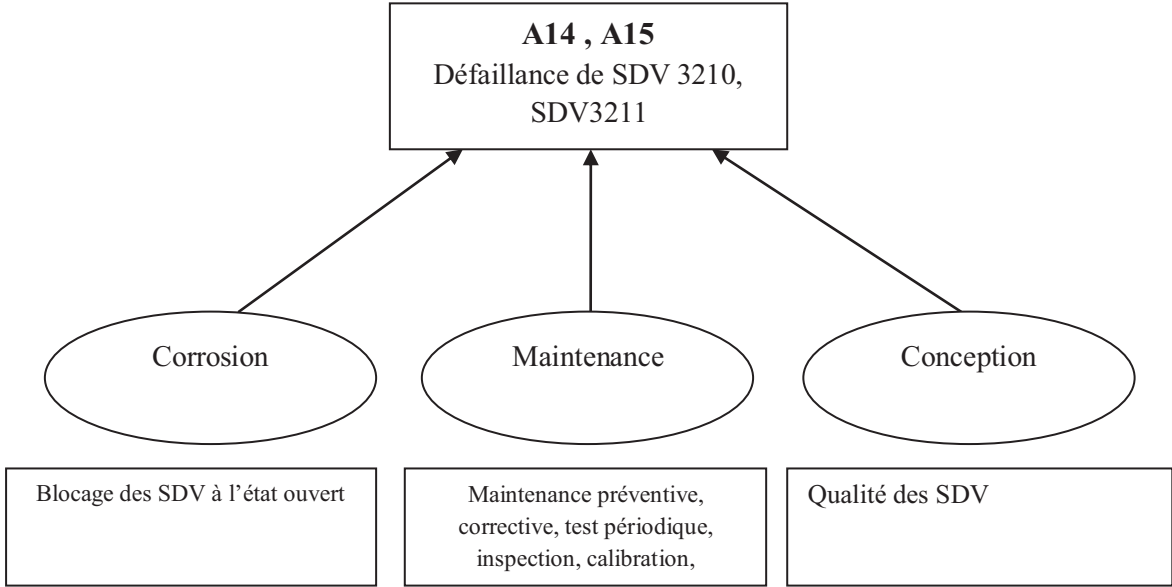


Figure III.16 : Diagramme d'influence des évènements de base A14 et A15

➤ Pour la barrière A2 :

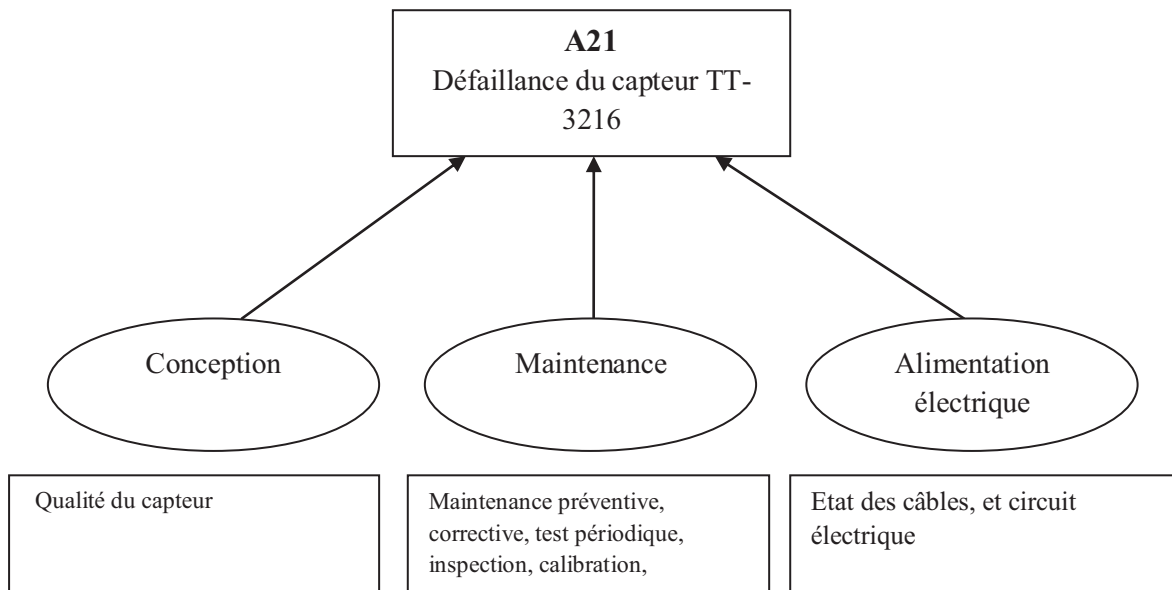


Figure III.17 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A21

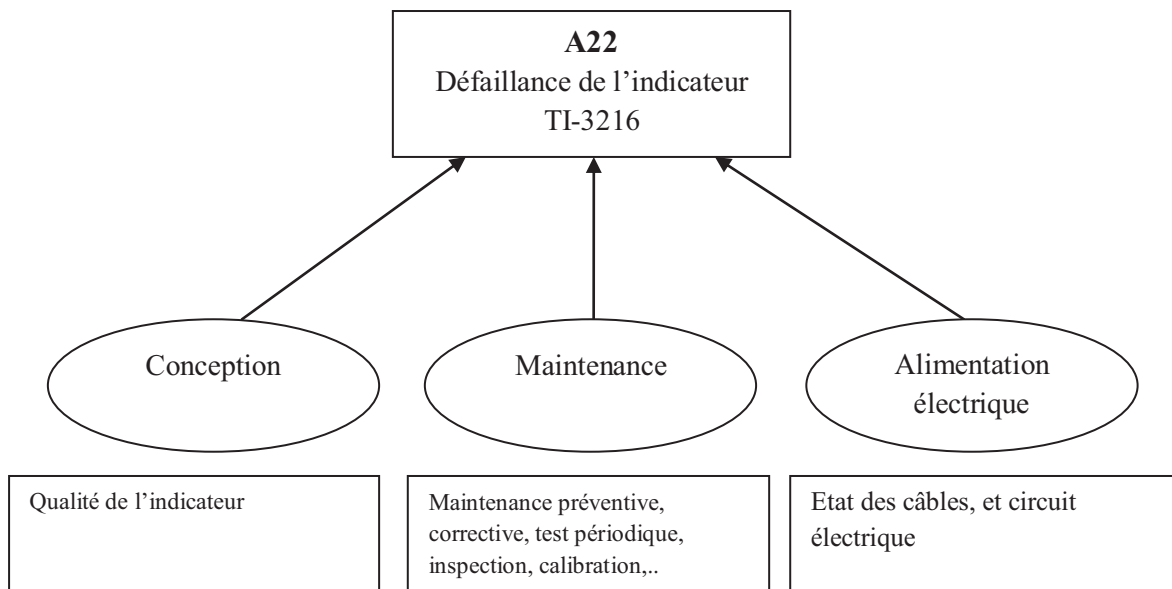
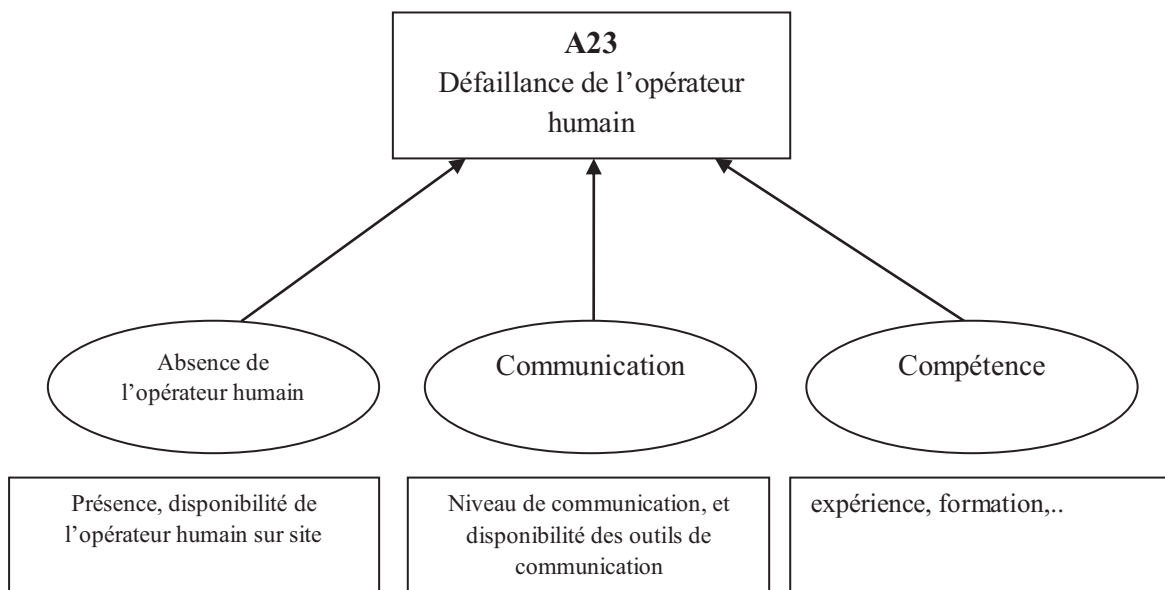


Figure III.18 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A22



**Figure III.19 : Diagramme d'influence de l'évènement de base A23**

➤ **Pour la barrière A3**

Les événements de base développés dans l'AdD de la barrière A3 sont presque les mêmes de la barrière A1. Par conséquent, pour A31, A32 ; les diagrammes d'influence sont les mêmes que A11, A12 successivement. Pour A37 et A33, A34, A35, A36; les digrammes d'influence sont les mêmes que A13 et A14, A15.

➤ **Pour la barrière A4**

Les événements de base développés dans l'AdD de la barrière A4 sont presque les mêmes de la barrière A3. Donc les mêmes diagrammes d'influence seront développés.

**III.7.5. Evaluation des poids W et des scores Q des RIF pour le scenario A**

**A. Classification des RIF :**

Après avoir déterminé les facteurs d'influence des risques (RIFs) pour l'ensemble des événements initiateurs et de base, une classification de ces facteurs est faite selon leurs natures dans des différentes catégories. Ces facteurs ainsi que leurs catégories sont données dans le tableau III.7.

**Tableau III.7 : Classification des RIFs**

Catégorie de RIF	RIFs
Caractéristiques humaines	- Compétence - Fatigue
Caractéristiques de la tâche	- Pression du temps - Manque d'outils de cirage des brides
Caractéristiques du système technique	- Conception - Alimentation - Maintenance - Corrosion - Complexité du système
Facteurs organisationnels/opérationnels	- Absence de l'opérateur humain - Communication

**B. Calcul des poids (importances) des RIFs**

Dans cette étape une échelle de cinq points (de grande importance à faible importance) est appliquée. Quantitativement, l'importance des RIF est donnée par des poids sur l'échelle de 10 - 8 - 6 - 4 - 2. Les coefficients de pondération sont normalisés à la somme des poids pour les RIF influençant un événement de base doit être égal à 1.

Prenons comme exemple du calcul de poids des RIFs liés à l'évènement initiateur A0 (défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A), et de la même manière on évalue le poids de tous les autres facteurs.

**Tableau III.8 : Exemple de calcul du poids des RIF (évènement initiateur A0)**

A0 défaillance de la boucle de régulation de débit d'huile chaude FIC-3200A						
RIF	Importance (poids)					Pondération normalisée
RIF	Haut (10)	(8)	(6)	(4)	Bas (2)	
WA01 Conception					×	0.125
WA02 Maintenance			×			0.375
WA03 Complexité du système		×				0.5
Poids	0	8	6	0	2	1
Poids total	16					1

A noter que l'importance des RIFs a été déterminée par jugement d'experts. Il s'agit d'une évaluation basée sur le retour d'expérience sur le four rebouilleur.

### C. Evaluation du score Q des RIF

Cette étape sert de déterminer les états S (statuts) des RIFs, cette évaluation est basée essentiellement sur des jugements d'experts et de retour d'expérience, une échelle de détermination des états (statuts) est développée pour chaque RIF en fonction de sa catégorie.

Le tableau ci-dessous (Tab.III.9) représente les échelles établies pour chaque RIF selon sa catégorie, ces échelles sont développées en collaboration avec des experts qui travaillent actuellement sur le système étudié.

**Tableau III.9 : Échelle proposée d'évaluation du statut des RIF**

Caractéristiques humaines (personnelles)	
<b>Score</b>	<b>Caractéristiques du score de RIF compétence</b>
A	Personnel expérimenté, compétent, avec des bonnes qualités et une réalisation parfaite des tâches
B	Personnel expérimenté, compétent, bonne exécution des tâches
C	Personnel compétent qui exécute ses tâches d'une manière satisfaite
D	Personnel pas tellement compétent, un niveau acceptable, et il exécute ses tâches normalement
E	Personnel non expérimenté, une mauvaise exécution des tâches
F	Personnel incompetent, non expérimenté, pas de formation, et une très mauvaise exécution des tâches
	<b>Caractéristiques du score de RIF fatigue</b>
A	Une excellente condition physique du personnel, les horaires du travail ne sont pas trop chargés avec un très bon système de rotation.
B	Une très bonne condition physique,
C	Une bonne condition physique,
D	Personnel un peu fatigué mais il peut exécuter ses tâches
E	Personnel fatigué
F	Personnel trop fatigué
	<b>Caractéristiques de la tâche</b>
	<b>Caractéristiques du score de RIF pression du temps</b>
A	Il n'y a pas de pression du temps, les superviseurs donnent suffisamment du temps aux techniciens pour exécuter leurs tâches normalement et dans les meilleurs délais.
B	Il n'y a pas de pression du temps, le temps d'exécution des tâches donné est suffisant.
C	Généralement Il n'y a pas de pression du temps
D	Il y'a une pression du temps mais elle n'affecte pas généralement l'exécution des tâches
E	Il y'a une pression du temps, les tâches sont exécutées mais dans des mauvaises conditions ce qui provoque des erreurs humaines
F	Une grande pression du temps, les techniciens exécutent leurs tâches dans des très



	mauvaises conditions.
	<b>Caractéristiques du score de RIF manque d'outils de cirage des brides</b>
A	Outils toujours disponibles au magasin, chaque technicien maintenance a sa boîte à outils personnel.
B	Outils disponibles, il n'y a pas de manque.
C	Outils suffisamment disponibles
D	Parfois il y'a un manque d'outils
E	Insuffisance d'outils
F	Y' a pas d'outils
	<b>Caractéristiques du système technique</b>
	<b>Caractéristiques du score de RIF conception</b>
A	Une excellente conception des équipements et barrières inclus dans le système technique
B	Une très bonne conception des équipements et barrières inclus dans le système technique
C	Une bonne conception
D	Conception pas tellement bonne
E	Une mauvaise conception des équipements et barrières inclus dans le système technique
F	Une très mauvaise conception
	<b>Caractéristiques du score de RIF alimentation</b>
A	L'alimentation électrique du système technique est dans un excellent état.
B	Un très bon état du circuit d'alimentation électrique
C	Le circuit d'alimentation électrique est dans un bon état
D	Un mauvais état du circuit mais il sa marche toujours
E	Un mauvais état du circuit, des coupures d'électricité
F	Un état dégradé du circuit électrique, pas d'électricité
	<b>Caractéristiques du score de RIF maintenance/tests périodiques</b>
A	Une excellente maintenance préventive/corrective, très bonne procédure de maintenance et test périodique, meilleur système check-list d'inspection et de calibration des équipements avec un très bon suivi de la procédure.
B	Une très bonne maintenance préventive/corrective, bonne procédure de maintenance et test périodique.
C	Une bonne maintenance
D	Faible maintenance préventive/corrective, simple procédure de maintenance et test périodique, inspection et calibration des équipements ne se faite pas dans les délais.
E	Mauvaise procédure de maintenance, test périodique, inspection et calibration.
F	Une très mauvaise maintenance, il n'y a pas de procédure.
	<b>Caractéristiques du score de RIF corrosion</b>
A	Equipements et barrières dans un excellent état, pas de corrosion.
B	Equipements et barrières dans un très bon état, pas de corrosion
C	Corrosion dans quelques équipements et barrières mais cela n'influence pas le fonctionnement du système.
D	Corrosion dans quelques équipements et barrières avec un arrêt occasionnel
E	Mauvais état des équipements, corrosion dans la majorité des parties du système.
F	Un très mauvais état des équipements et barrières, corrosion dans tous les équipements et barrières.
	<b>Caractéristiques du score de RIF complexité du système</b>
A	Système tellement simple, il n'y aucune complexité et maitrisable par l'ensemble

	des techniciens.
B	Système simple, il n'y a aucune complexité
C	Système simple, aucune difficulté remarquable
D	Système complexe, mais maîtrisable.
E	Système très complexe, non maîtrisable par l'ensemble des techniciens
F	Système extrêmement complexe
<b>Facteurs organisationnels/opérationnels</b>	
<b>Caractéristiques du score de RIF absence de l'opérateur humain</b>	
A	Présence de l'opérateur humain 24h/24h avec un très bon système de rotation et un nombre tellement suffisant des opérateurs
B	Présence de l'opérateur humain 24h/24h, bon système de rotation
C	Présence de l'opérateur humain, simple système de rotation et un nombre suffisant des opérateurs
D	Absence de quelques opérateurs, mais le nombre est suffisant dans la majorité des cas
E	Absence remarquable des opérateurs, nombre non suffisant et un faible système de rotation.
F	Absence totale de l'opérateur humain.
<b>Caractéristiques du score de RIF communication</b>	
A	Une excellente communication, l'information se diffuse dans les délais.
B	Une très bonne communication.
C	Une bonne communication
D	Communication pas tellement bonne, mais généralement l'information se diffuse dans des bon délais
E	Une mauvaise communication, l'information ne se diffuse pas au délai
F	Pas de communication

Comme suite de l'étape précédente, l'évaluation des scores  $Q_i$  des RIFs pour tous les évènements initiateurs et de base est faite. En effet, la détermination des scores ( $Q_i$ ) est faite en associant à chaque RIF un score allant de A-F (Tab.III.9). Cela peut se faire par des différentes manières, et la méthode proposée est la suivante :

- Détermination de  $P_{low}$  comme limite minimale de  $P_{rev}$  par jugement d'expert
- Détermination de  $P_{high}$  comme limite maximale de  $P_{rev}$  par jugement d'expert.
- Ensuite on met pour  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  ;

$$Q_i(S) = \begin{cases} P_{low} / P_{ave} & S_i \quad S_i = A \\ 1 & S_i \quad S_i = C \\ P_{high} / P_{ave} & S_i \quad S_i = F \end{cases} \quad (III.2)$$

Par conséquent, si le score est A, et  $Plow (A)$  est 10% du  $Pave (A)$ , alors  $Q_i$  est égale à 0,1. Si le score  $S_i$  est F, et  $Phigh (A)$  est dix fois  $Pave (A)$ , alors  $Q_i$  est égal à 10. Si le score  $S_i$  est C, alors  $Q_i$  est égal à 1. En outre, si tous les RIFs ont des scores égaux à C, alors  $Prev (A) = Pave (A)$ , si tous les RIFs ont des scores égaux à A, alors  $Prev (A) = Plow (A)$ , et si tous les RIF ont des scores égaux à F, alors  $Prev (A) = Phigh (A)$ .

Pour déterminer les valeurs de  $Q_i$  pour  $S_i = B$ , nous supposons une relation linéaire entre  $Q_i (A)$  et  $Q_i (C)$ , et nous utilisons  $SA = 1, SB = 2, SC = 3, SD = 4, SE = 5$ , et  $SF = 6$ . Ensuite,

$$Q_i(B) = \frac{Plow}{Pave} + \frac{(SB-SA) \cdot (1 - \frac{Plow}{Pave})}{SC-SA} \quad (III.3)$$

Pour déterminer les valeurs de  $Q_i$  pour  $S = D$  et  $E$ , on suppose une relation linéaire entre  $Q_i (C)$  et  $Q_i (F)$ . Ensuite,

$$Q_i(D) = 1 + \frac{(SD-SC) \cdot (\frac{Phigh}{Pave} - 1)}{SF - SC} \quad (III.4)$$

$Q_i (E)$  est calculé comme  $Q_i (D)$  par l'utilisation de  $SE$  à la place du  $SD$  dans la Formule (3).

**Evaluation du score des RIFs pour l'évènement initiateur A0 :**

$Pave = 0.1$

$Plow = Pave/10 = 0.01$       donc  $Plow/Pave = 0.1$

$Phigh = 10 * Pave = 1$       donc  $Phigh/Pave = 10$

**Pour le RIF WA01 Conception :**

Le tableau ci-dessous nous explique la manière de calcul du score  $Q(A01)$  conception :

SCORE	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)
Q (i)	0.1	0.55	1	4		10

$S (A01) = B (2)$

Donc selon la formule (2) :  $Q_0(B) = \frac{0.01}{0.1} + \frac{(2-1) \cdot (1 - \frac{0.01}{0.1})}{3-1} = 0.55$

**Pour le RIF A02 maintenance/test périodique :**

$$S(A02) = A(1)$$

$$\text{Donc } Q0(A) = P_{low}/P_{ave} = 0.1$$

**Pour le RIF A03 complexité du système :**

$$S(A03) = D(4)$$

$$\text{Donc selon la formule (3) : } Q0(D) = 1 + \frac{(4-3) \cdot (\frac{1}{0.1} - 1)}{6-3} = 4$$

Et de la même manière on calcule le score de tous les RIFs pour les autres évènements initiateurs et de base.

### III.7.6. Réajustement de la fréquence moyenne de l'évènement de base A0, et les probabilités moyennes de défaillance des barrières A1, A2, A3, A4

La correction de la fréquence moyenne de l'évènement de base A0, et les probabilités moyennes de défaillance des barrières A1, A2, A3, A4 se fait de la manière suivante :

$$Prev(A) = Pave(A) \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \tag{III.5}$$

Où :

$Prev(A)$  = Probabilité ajustée (Révisée)

$Pave(A)$  = probabilité moyenne

$W_i$  = poids du RIF pour l'évènement A

$Q_i$  = mesure du score de RIF, et  $n$  est le nombre de RIF, ici,

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \tag{III.6}$$

$$\begin{aligned} \text{A titre d'exemple : } Prev(A0) &= 0.1 * [(0.125 * 0.55) + (0.375 * 0.1) + (0.5 * 4)] \\ &= 2.1 \text{ E-1} \end{aligned}$$

Et de la même manière on calcule les probabilités révisées de défaillance des barrières A1, A2, A3 et A4.

Le tableau III.10 résume toutes les données, les poids, les scores pour tous les RIFs, les facteurs d'ajustement pour le scénario A, les fréquences et les probabilités génériques et révisées.

Tableau III.10 : Scénario A- Les données, poids, scores, et les données révisées

barrière	Evènement initiateur/ de base	Pave	Plow	Phigh	RIFs	Wi	Wi normali sé	Si	Qi	MF	Prev	
<b>A0</b>	A0 Défaillance de la boucle de régulation	<b>1.00 E-1</b>	0.01	1						2.1	<b>2.1 E-1</b>	
					A01 Conception A02 Maintenance/ test périodique A03 Complexité du système	2 6 8	0.125 0.375 0.5	B A D	0.55 0.1 4			
<b>A1</b>	Défaillance de la boucle de sécurité débit bas	<b>3.11 E-2</b>									<b>6.77 E-3</b>	
	A11 Défaillance de transmetteur de débit FT3200B	<b>2.61 E-3</b>	2.61 E-4	1.16 E-2						0.719	<b>1.87 E-3</b>	
					A111 Conception A112 Maintenance A113 Alimentation électrique	2 8 6	0.125 0.5 0.375	A C B	0.1 1 0.55			
	A12 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>3.92 E-3</b>	
					A121 Alimentation électrique A122 Maintenance/test périodique A123 Diagnostique/ programmation	4 4 2	0.4 0.4 0.2	B C A	0.55 1 0.1			
	A13 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3	A131 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55	<b>1.24 E-4</b>	
	A14 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>	
					A141 Corrosion A142 Alimentation électrique A143 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1			
	A15 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>	
					A151 Corrosion A152 Alimentation électrique A153 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1			
	<b>A2</b>	Défaillance du système de surveillance	<b>2.41 E-2</b>									<b>7.13 E-2</b>
		A21 Défaillance de TT-3216	<b>1.3 E-3</b>	1.3 E-4	1.3 E-2						0.6625	<b>8.61 E-4</b>
						A211 Conception A212 Alimentation électrique A213 Maintenance	2 6 8	0.125 0.375 0.5	A C B	0.1 1 0.55		
A22 Défaillance de TI-3216		<b>1.29 E-2</b>	1.29 E-3	1.29 E-1						0.6247	<b>8.00 E-3</b>	
					A221 Conception A222 Alimentation électrique A223 Maintenance	2 4 6	0.167 0.333 0.5	A C B	0.1 1 0.55			
A23 Défaillance de l'opérateur humain		<b>1.00 E-2</b>	1.00 E-3	1.00 E-1						6.31	<b>6.31 E-2</b>	
					A231 Absence de l'opérateur A232 Communication	2 10	0.1 0.45	A F	0.1 10			

### Chapitre III | Application de la méthodologie BORA à un système opérationnel

					A233 Compétence	10	0.45	D	4		
<b>A3</b>	Défaillance de boucle de sécurité débit très bas	<b>5.26 E-2</b>									<b>1.185 E-1</b>
	A31 Défaillance de FT-3200B	<b>2.61 E-3</b>	2.61 E-4	2.61 E-2						0.72	<b>1.87 E-3</b>
					A311 Conception	2	0.125	A	0.1		
					A312 Maintenance	8	0.5	C	1		
					A313 Alimentation électrique	6	0.375	B	0.55		
	A32 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>3.92 E-3</b>
					A321 Alimentation électrique	4	0.4	B	0.55		
					A322 Maintenance/test périodique	4	0.4	C	1		
					A323 Diagnostique/ programmation	2	0.2	A	0.1		
	A33 Défaillance de SDV 3200	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A331 Corrosion	10	0.625	D	4		
					A332 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
					A333 Conception	2	0.125	A	0.1		
	A34 Défaillance de SDV 3201	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A341 Corrosion	10	0.625	D	4		
					A342 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
					A343 Conception	2	0.125	A	0.1		
	A35 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A351 Corrosion	10	0.625	D	4		
					A352 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
					A353 Conception	2	0.125	A	0.1		
	A36 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A361 Corrosion	10	0.625	D	4		
					A362 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
					A363 Conception	2	0.125	A	0.1		
	A37 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3	A371 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55	<b>1.24 E-4</b>
<b>A4</b>	Défaillance de boucle de sécurité température très haute	<b>5.13 E-2</b>									<b>1.177 E-1</b>
	A41 Défaillance de TT-3211	<b>1.3 E-3</b>	1.3 E-4	1.3 E-2						0.7187	<b>9.34 E-4</b>
					A411 Conception	2	0.125	A	0.1		
					A412 Maintenance	8	0.5	C	1		
					A413 Alimentation électrique	6	0.375	B	0.55		
	A42 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>3.92 E-3</b>
					A421 Alimentation électrique	4	0.4	B	0.55		
					A422 Maintenance/test périodique	4	0.4	C	1		
					A423 Diagnostique/ programmation	2	0.2	A	0.1		

### Chapitre III | Application de la méthodologie BORA à un système opérationnel

A43 Défaillance de SDV 3200	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
				A431 Corrosion	10	0.625	D	4		
A44 Défaillance de SDV 3201	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
				A432 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
A45 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
				A433 Conception	2	0.125	A	0.1		
A46 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
				A441 Corrosion	10	0.625	D	4		
A47 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3						0.55	<b>1.24 E-4</b>
				A442 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
				A443 Conception	2	0.125	A	0.1		
				A451 Corrosion	10	0.625	D	4		
				A452 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
				A453 Conception	2	0.125	A	0.1		
				A461 Corrosion	10	0.625	D	4		
				A462 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55		
				A463 Conception	2	0.125	A	0.1		
				A471 Alimentation	2	1	B	0.55		

### III.7.7. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario A :

La fréquence révisée de conséquence du scénario A se calcule de la manière suivante :

$$Frev (A) = Frev (A0) . PFDrev (A1) . PFDrev (A2) . PFDrev (A3) . PFDrev (A4) \quad (III.7)$$

$$Frev (A) = 1.41 E-6 (/an)$$

### III.7.8. Commentaires sur les résultats obtenus

Les résultats de l'analyse quantitative du scénario A se résument dans le tableau III.11 et la figure III.20.

La fréquence générique de conséquence de scénario A (incendie au four) est 2.00 E-8 par an en utilisant les données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue 1.41 E-6 par an. Par conséquent, il y' a une augmentation de 6950%. La même chose pour la fréquence de l'évènement initiateur (défaillance de la boucle de régulation), il y' a une augmentation de 110% après l'utilisation des données ajustées.

La probabilité de défaillance de la barrière A1 (SIS diminution du débit) a augmenté de 118%, de 3.11 E-3 à 6.77 E-3, la même chose pour les barrières A2 (Système de surveillance), A3 (SIS diminution du débit) et A4 (SIS augmentation de température) ; il y' a une augmentation de 196%, 125% et 129% successivement.

**Tableau III.11 : Scénario A - Résumé de résultats**

Evènement	Probabilités/Fréquences génériques	Probabilités/Fréquences révisées	Rapport (%)
F(A0)	1.00 E-1	2.1 E-1	110%
P (A1)	3.11 E-3	6.77 E-3	118%
P (A2)	2.41 E-2	7.13 E-2	196%
P (A3)	5.26 E-2	1.185 E-1	125%
P (A4)	5.13 E-2	1.177 E-1	129%
F (A) / an	<b>2.00 E-8</b>	<b>1.41 E-6</b>	



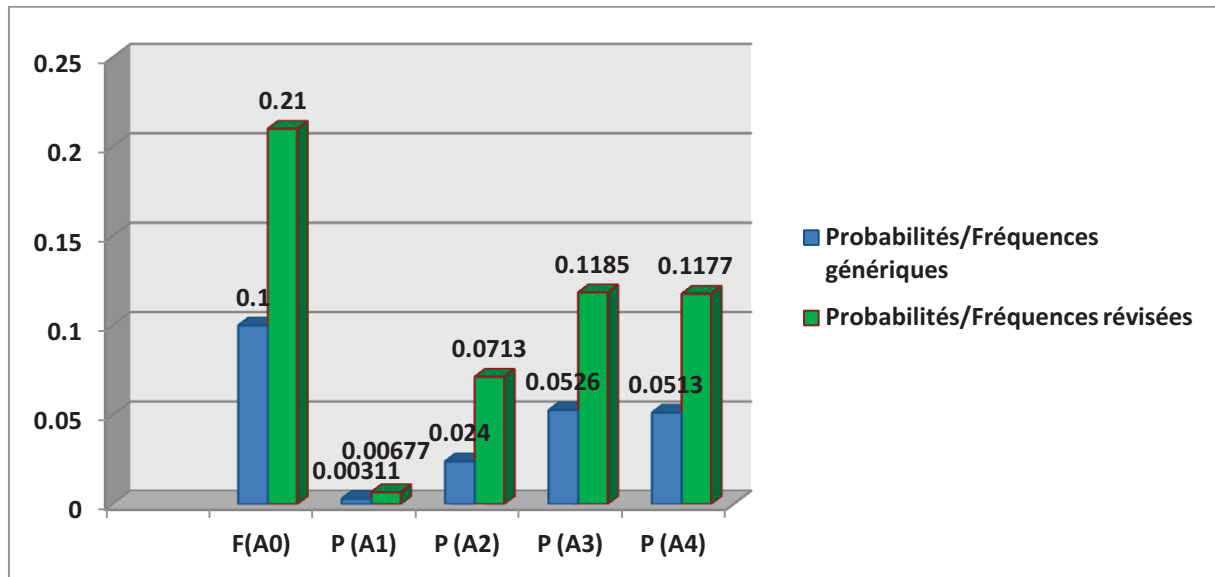


Figure III.20 : Scénario A - Résumé de résultats

### III.8. Scénario B : Explosion du four

Le tableau III.12 fournit une description du scénario B. Il concerne notamment l'occurrence d'une explosion suite d'une défaillance d'une erreur humaine pendant le démarrage du four.

Tableau III.12 : Description du scénario B

<b>Nom du scénario :</b> Explosion du four	
<b>Description générale :</b> Explosion du four à cause d'une erreur humaine pendant le démarrage du four (échec d'ouvrir le registre situé dans la cheminée du four après maintenance)	
<b>Evènement initiateur :</b> erreur humaine pendant le démarrage du four (échec d'ouvrir le registre situé dans la cheminée du four après maintenance)	
<b>Fonctions de barrières :</b> L'explosion peut être prévenue si les fonctions de barrières suivantes sont réalisées : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouverture du registre 45°</li> <li>• Alarme + intervention humaine</li> <li>• Eteindre les pilotes et bruleurs</li> </ul>	<b>Systèmes de barrières :</b> L'incendie peut être prévenu dans la présence des systèmes de barrières suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système d'indication de position de registre</li> <li>• Système de surveillance de haute température TI- 3217H</li> <li>• Prévention contre la très haute température par (SIS)</li> <li>• Prévention contre la très haute pression (SIS)</li> </ul>

En suivant la même procédure d'application de la méthode BORA, les résultats des fréquences révisées de l'évènement initiateur B0, de conséquence de scénario B

d'accident, et les probabilités révisées de défaillance des barrières B1, B2, B3 et B4 sont aussi calculées. En effet, un diagramme block barrière pour le scénario B est développé dans la figure III.21 ainsi que des AdDs pour les barrières de sécurité à savoir: le système d'indication de position de registre, le système de surveillance de haute température TI- 3217H, le système instrumenté de sécurité qui assure la prévention contre la déviation «très haute température », un autre SIS qui assure la prévention contre la déviation « très haute pression » (SIS). Les figures III.22, III.23, III.24, et III.25 montrent ces arbres de défaillances, des diagrammes d'influence de risque sont aussi développés pour chaque événement de base.

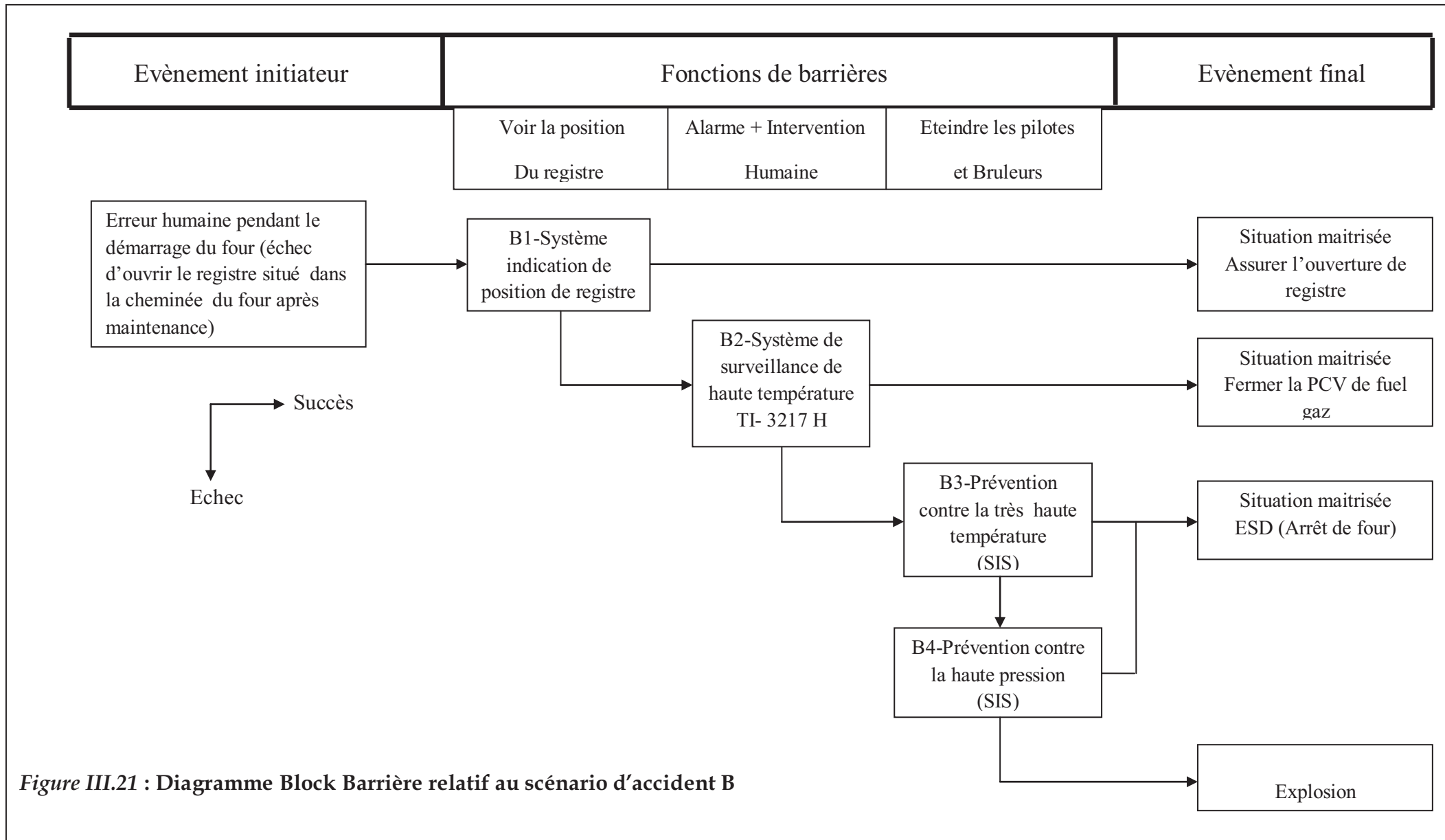


Figure III.21 : Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident B

Arbre de défaillance pour les barrières B1, B2, B3 ET B4

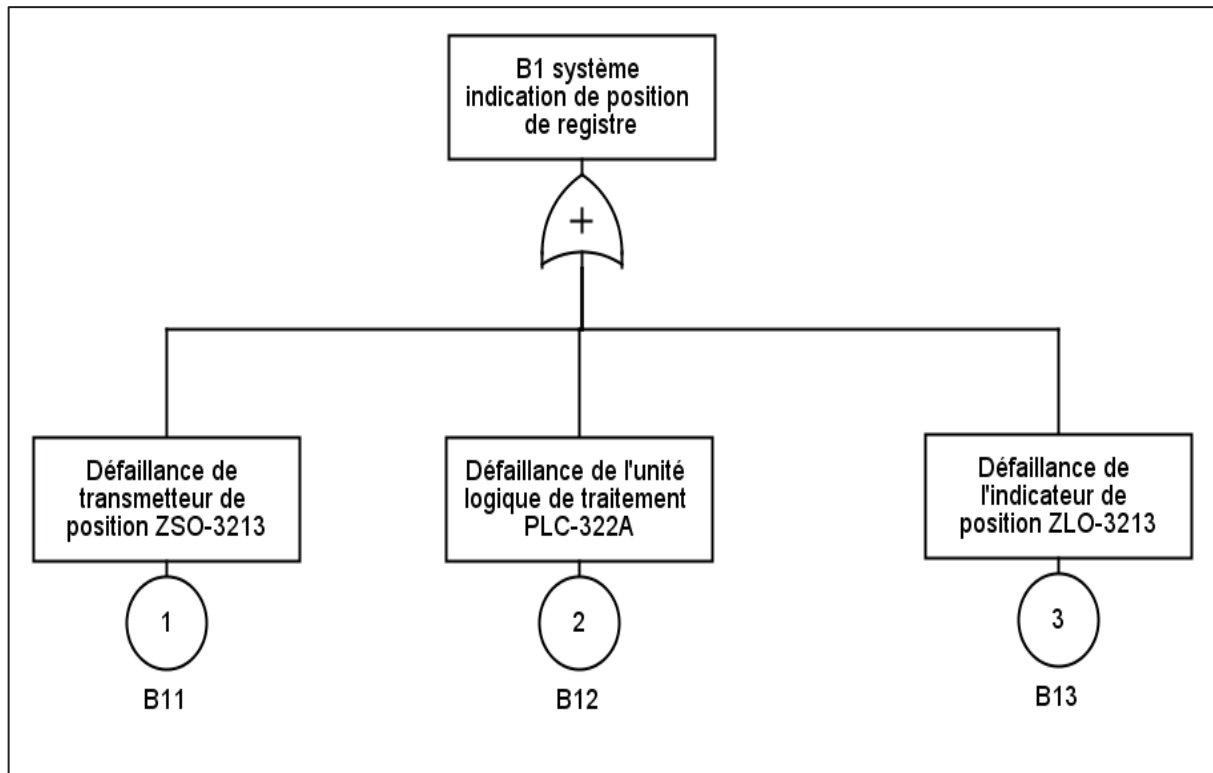


Figure III.22 : Arbre de défaillance pour la barrière B1

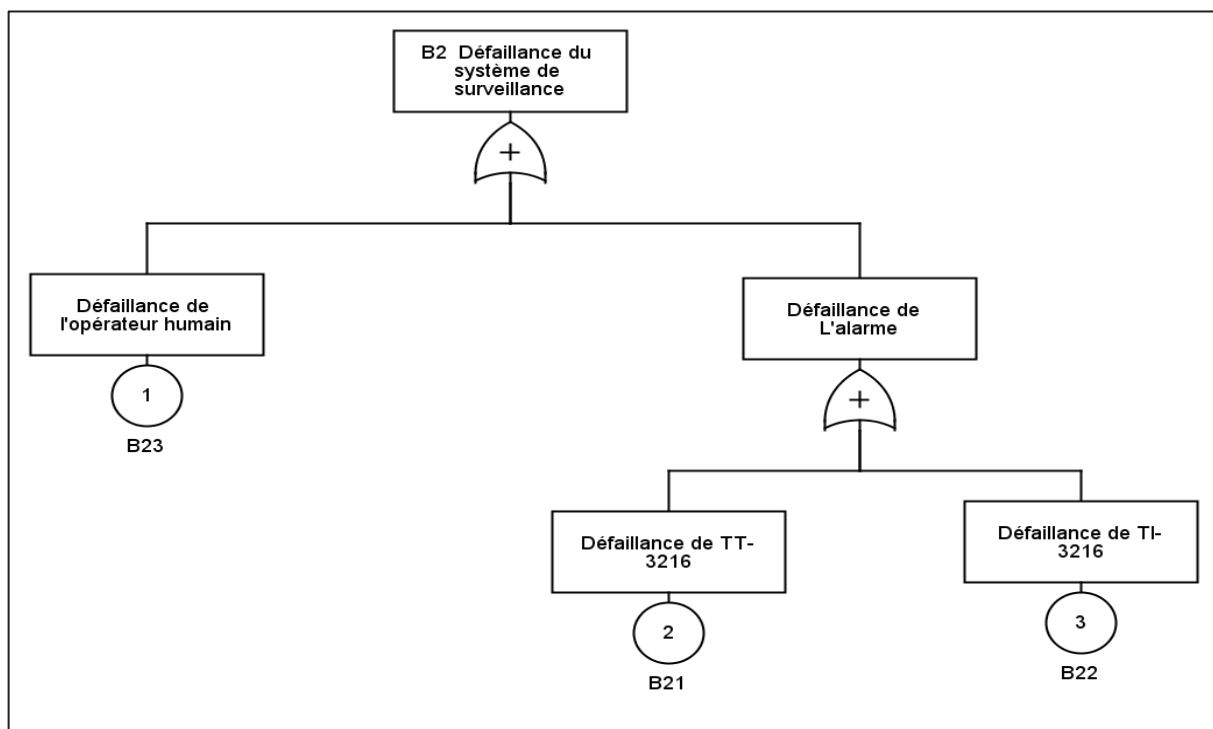


Figure III.23 : Arbre de défaillance pour la barrière B2

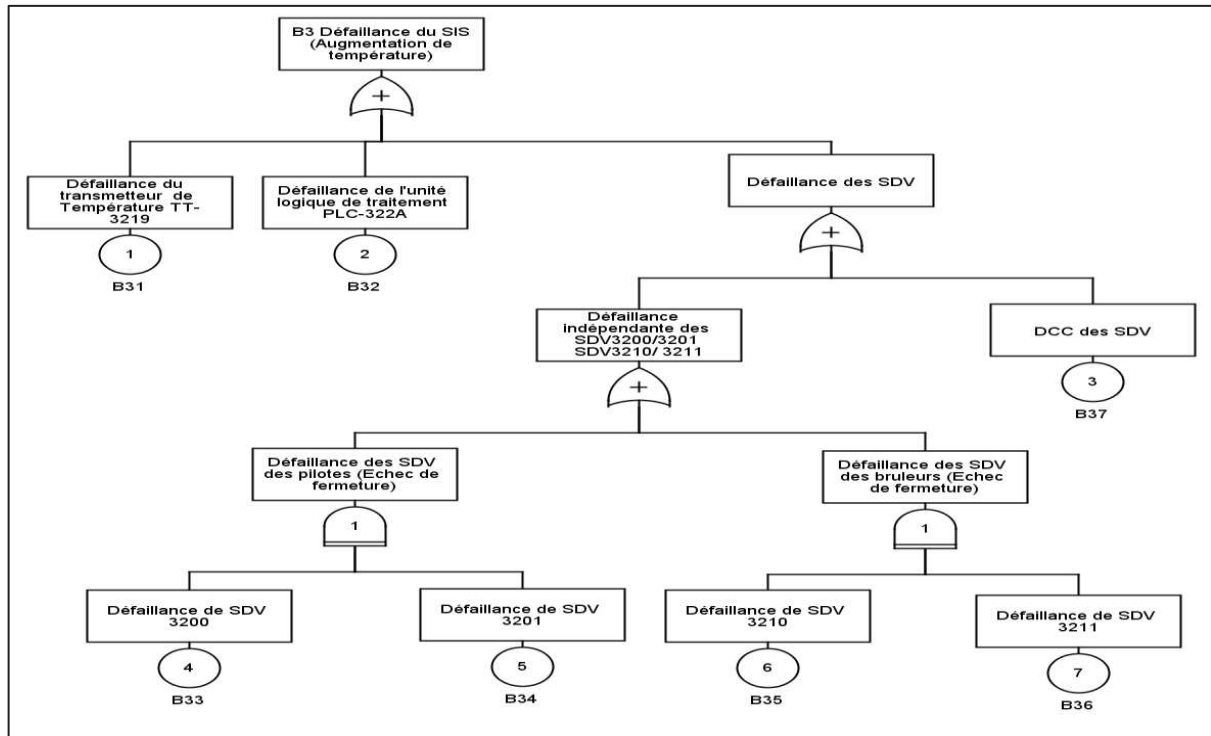


Figure III.24 : Arbre de défaillance pour la barrière B3

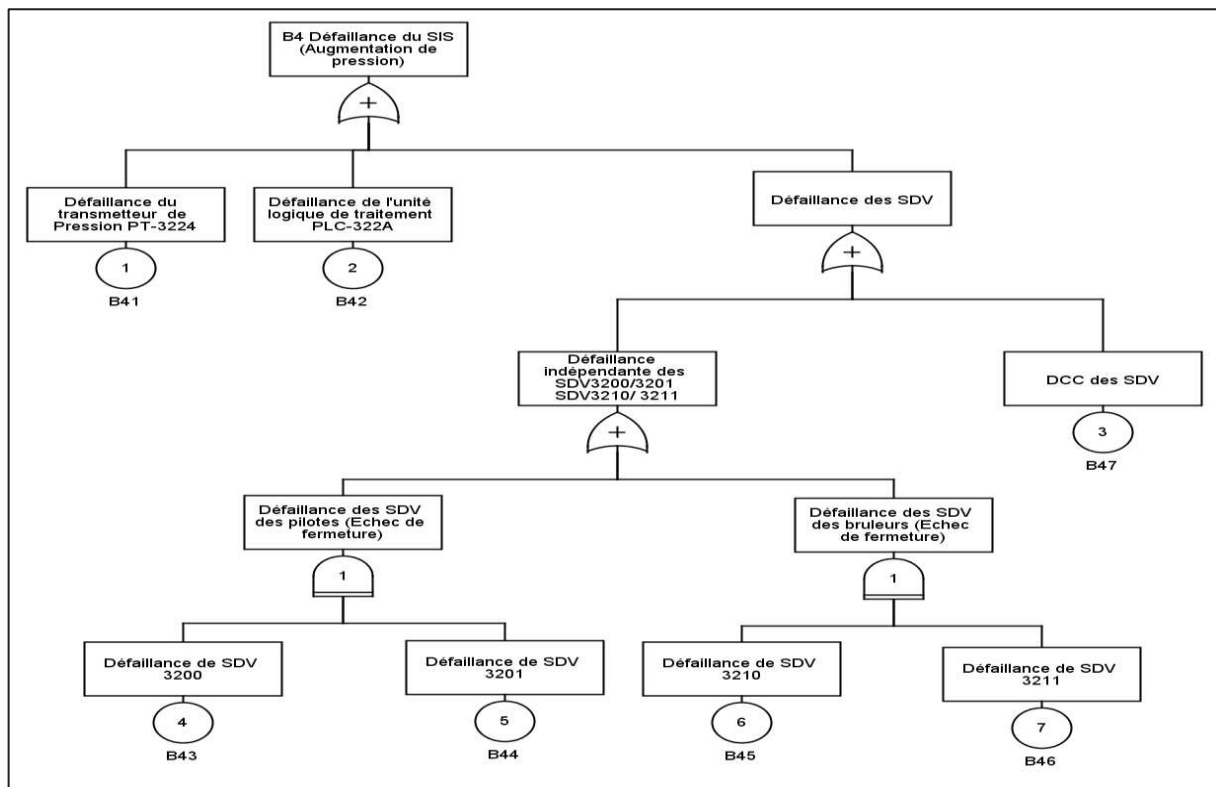


Figure III.25 : Arbre de défaillance pour la barrière B4

### III.8.1. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières B1, B2, B3, B4 (Pave)

Après avoir développé les AdD de tous les barrières, et à l'aide de l'outil Grif et le tableau III.5 des taux de défaillance des composants des systèmes barrières ; on a calculé les probabilités moyennes (Pave) de ces évènements, et ci-dessous les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.13.

### III.8.2. Calcul de la fréquence générique Fave (B) de conséquence du scénario B

De la même manière que dans le scénario A.

$$Fave (B) = Fave (B0) \cdot PFDave (B1) \cdot PFDave (B2) \cdot PFDave (B3) \cdot PFDave (B4) \quad (III.8)$$

$$Fave (B) = 1.8 E-7 (/an)$$

### III.8.3. Diagrammes d'influence des évènements initiateurs et de base du scénario B

➤ Pour l'évènement initiateur B0

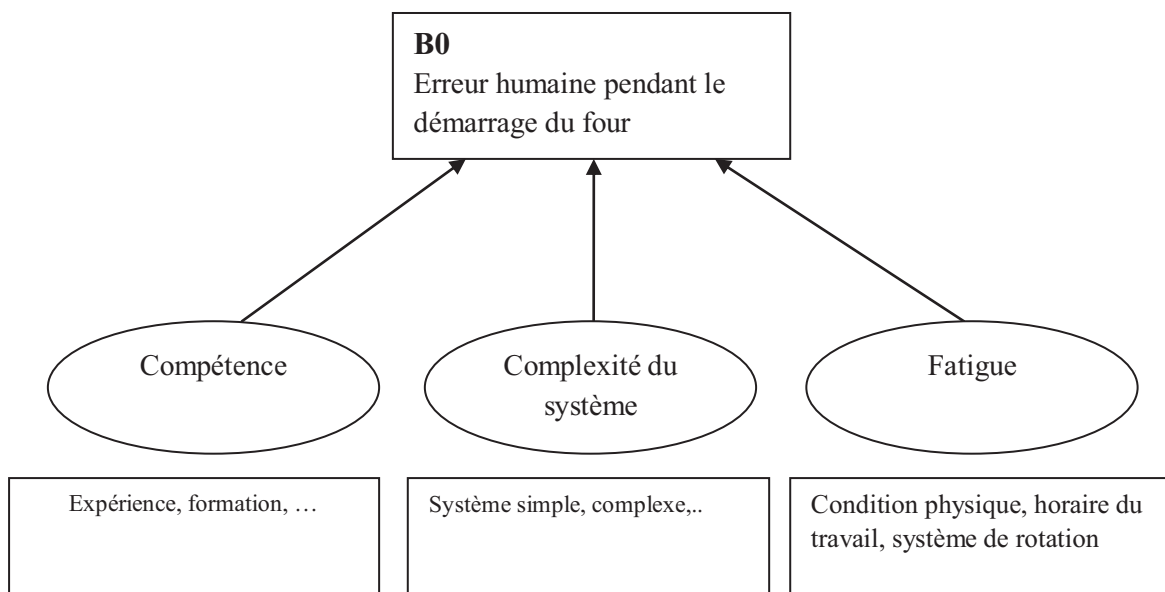


Figure III.26 : Diagramme d'influence pour l'évènement initiateur B0

➤ Pour la barrière B1 :

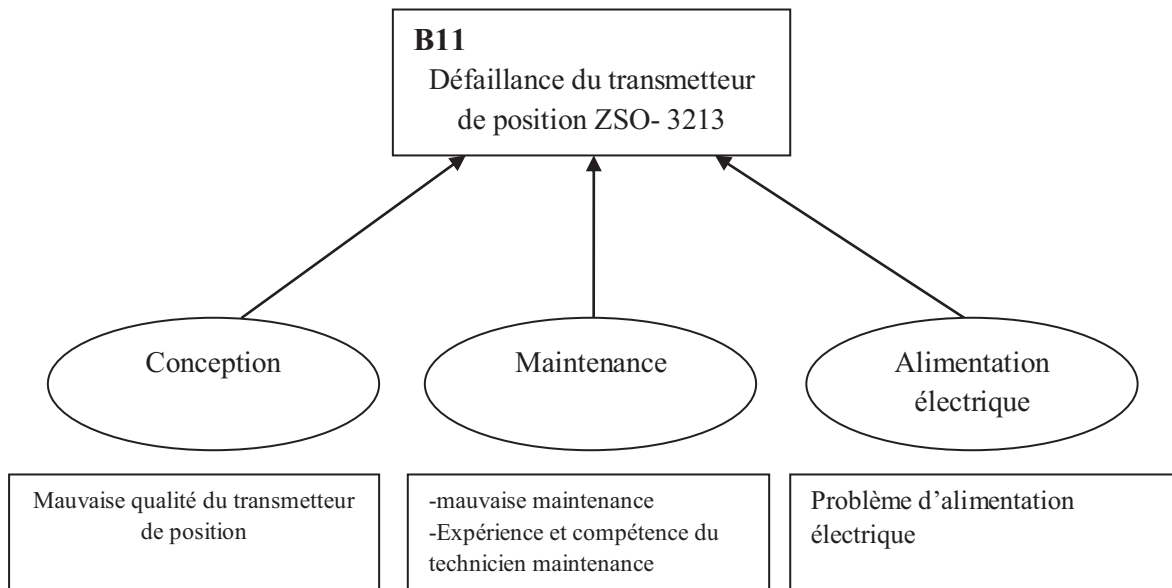


Figure III.27 : Diagramme d'influence de l'évènement de base B11

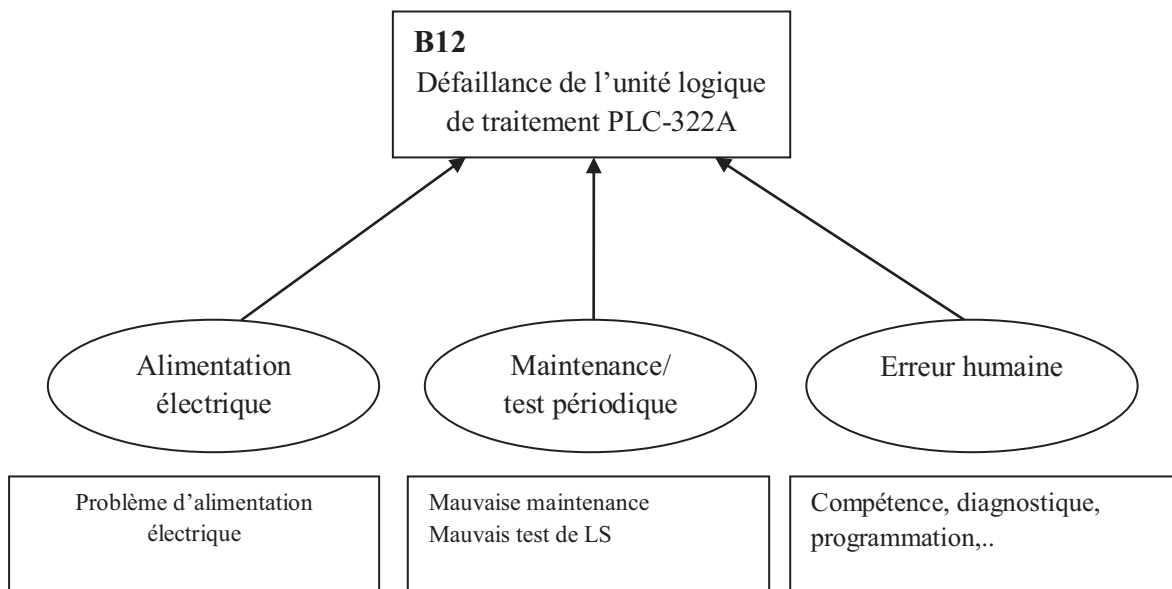
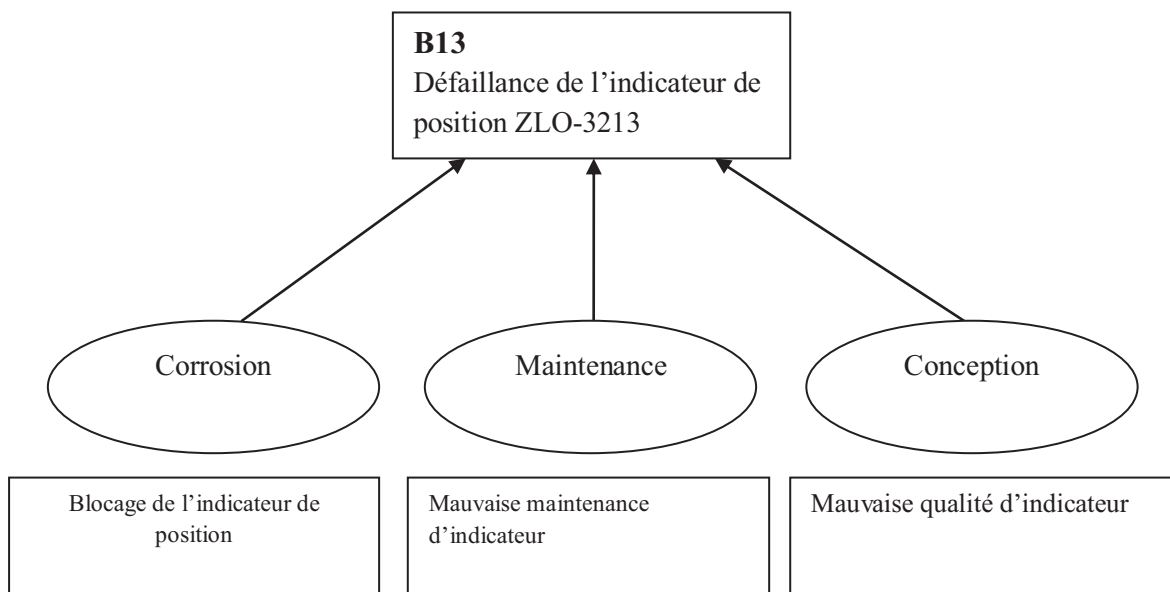


Figure III.28: Diagramme d'influence de l'évènement de base B12



**Figure III.29 : Diagramme d'influence de l'évènement de base B13**

➤ **Pour la barrière B2 :**

Ce sont les mêmes diagrammes d'influence des événements de base de la barrière A2

➤ **Pour la barrière B3 :**

Ce sont les mêmes diagrammes d'influence des événements de base de la barrière A3

➤ **Pour la barrière B4 :**

Ce sont les mêmes diagrammes d'influence des événements de base de la barrière B3 (ou A3)

#### III.8.4. Evaluation des poids W et des scores Q des RIF pour le scénario B

Le tableau III.13 résume toutes les données, les poids, les scores pour tous les RIFs, les facteurs d'ajustement pour le scénario B, les fréquences et les probabilités génériques et révisées.





### Chapitre III | Application de la méthodologie BORA à un système opérationnel

					B312 Maintenance B313 Alimentation électrique	6 8	0.375 0.5	C B	1 0.55		
	B32 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>3.92 E-3</b>
					B321 Alimentation électrique B322 Maintenance/test périodique B323 Diagnostique/ programmation	4 4 2	0.4 0.4 0.2	B C A	0.55 1 0.1		
	B33 Défaillance de SDV 3200	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B331 Corrosion B332 Alimentation électrique B333 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	B34 Défaillance de SDV 3201	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B341 Corrosion B342 Alimentation électrique B343 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	B35 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B351 Corrosion B352 Alimentation électrique B353 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	B36 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B361 Corrosion B362 Alimentation électrique B363 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	B37 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3	B371 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55	<b>1.24 E-4</b>
<b>B4</b>	Défaillance de boucle de sécurité haute pression	<b>5.13 E-2</b>									<b>1.176 E-1</b>
	B41 Défaillance de PT-3224	<b>1.3 E-3</b>	1.3 E-4	1.3 E-2						0.6625	<b>8.61 E-4</b>
					B411 Conception B412 Maintenance B413 Alimentation électrique	2 6 8	0.125 0.375 0.5	A C B	0.1 1 0.55		
	B42 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>3.92 E-3</b>
					B421 Alimentation électrique B422 Maintenance/test périodique B423 Diagnostique/ programmation	4 4 2	0.4 0.4 0.2	B C A	0.55 1 0.1		
	B43 Défaillance de SDV 3200	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B431 Corrosion B432 Alimentation électrique B433 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	B44 Défaillance de SDV 3201	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					B441 Corrosion B442 Alimentation électrique B443 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		

### Chapitre III | Application de la méthodologie BORA à un système opérationnel

B45 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1							2.65	<b>2.96 E-2</b>
				B451 Corrosion	10	0.625	D	4			
				B452 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55			
				B453 Conception	2	0.125	A	0.1			
B46 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1							2.65	<b>2.96 E-2</b>
				B461 Corrosion	10	0.625	D	4			
				B462 Alimentation électrique	4	0.25	B	0.55			
				B463 Conception	2	0.125	A	0.1			
B47 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3	B471 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55		<b>1.24 E-4</b>

### III.8.5. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario B :

La fréquence révisée de conséquence du scénario B se calcule de la manière suivante :

$$Frev (B) = Frev (B0) \cdot PFDrev (B1) \cdot PFDrev (B2) \cdot PFDrev (B3) \cdot PFDrev (B4) \quad (III.9)$$

$$Frev (B) = 1.67 \text{ E-6 (}/\text{an)}$$

### III.8.6. Commentaires sur les résultats obtenus

Les résultats de l'analyse quantitative du scénario B se résument dans le tableau III.14 et la figure III.30. La fréquence générique de conséquence de scénario B (explosion au four) est 1.8 E-7 par an en utilisant les données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue 1.67 E-6 par an. Par conséquent, il y a une augmentation de 828%. Une diminution de 15% de la fréquence de l'évènement initiateur (erreur humaine pendant le démarrage du four) a été enregistrée après l'utilisation des données ajustées.

La probabilité de défaillance de la barrière B1 (système d'indication de position de registre) a diminué de 30%, de 8.99 E-2 à 6.3 E-2, pour les barrières B2 (TI-3217H), B3 (SIS augmentation de température) et B4 (SIS augmentation de pression) ; il y a une augmentation de 196%, 126% et 126% successivement.

**Tableau III.14 : Scénario B – Résumé des résultats**

Evènement	Probabilités/Fréquences génériques	Probabilités/Fréquences révisées	Rapport (%)
F(B0)	3.16 E-2	2.69 E-2	-15%
P (B1)	8.99 E-2	6.3 E-2	-30%
P (B2)	2.41 E-2	7.13 E-2	196%
P (B3)	5.13 E-2	1.176 E-1	126%
P (B4)	5.13 E-2	1.176 E-1	126%
F (B)	<b>1.8 E-7</b>	<b>1.67 E-6</b>	828%

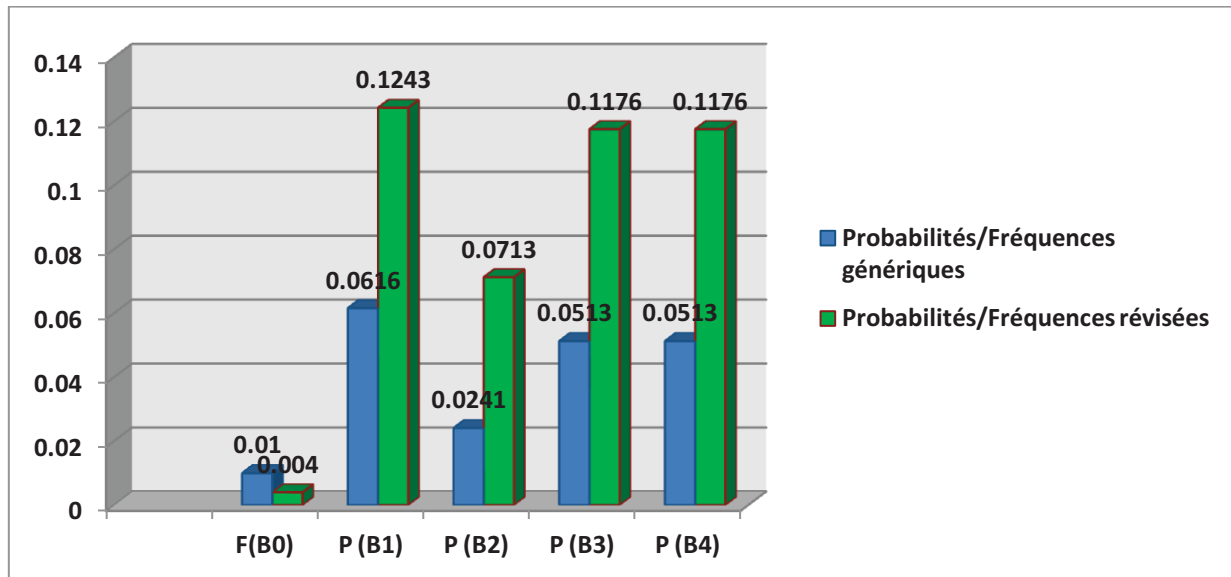


Figure III.30 : Scénario B – Résumé des résultats

### III.9. Scénario C : boule de feu

Le tableau ci-dessous (Tableau III.15) fournit une description du scénario C. Il concerne notamment l'occurrence d'une boule de feu suite d'une défaillance d'une erreur humaine pendant la maintenance (mauvais cirage des brides entraînant une fuite en aval des détecteurs de basse pression de gaz).

Tableau III.15 : Description du scénario C

<b>Nom du scénario :</b> Boule de feu au four	
<b>Description générale :</b> Boule de feu au four à cause d'une erreur humaine pendant la maintenance (mauvais cirage des brides entraînant une fuite en aval des détecteurs de basse pression de gaz)	
<b>Evènement initiateur :</b> erreur humaine pendant la maintenance (mauvais cirage des brides entraîne une fuite en aval des détecteurs de basse pression de gaz)	
<b>Fonctions de barrières :</b> Boule de feu peut être prévenu si la fonction de barrière suivante est réalisée : <ul style="list-style-type: none"> <li>Eteindre les pilotes et brûleurs</li> </ul>	<b>Systèmes de barrières :</b> Boule de feu peut être prévenu dans la présence du système de barrière suivant : <ul style="list-style-type: none"> <li>Système prévention contre les fuites de gaz</li> </ul>

Un diagramme bloc barrière pour le scénario C est développé dans la figure III.31 ainsi qu'une AdD pour la barrière de sécurité : système prévention contre les fuites de gaz dans la figure III.32, et des diagrammes d'influence de risque pour les événements de base sont bien démontrés.

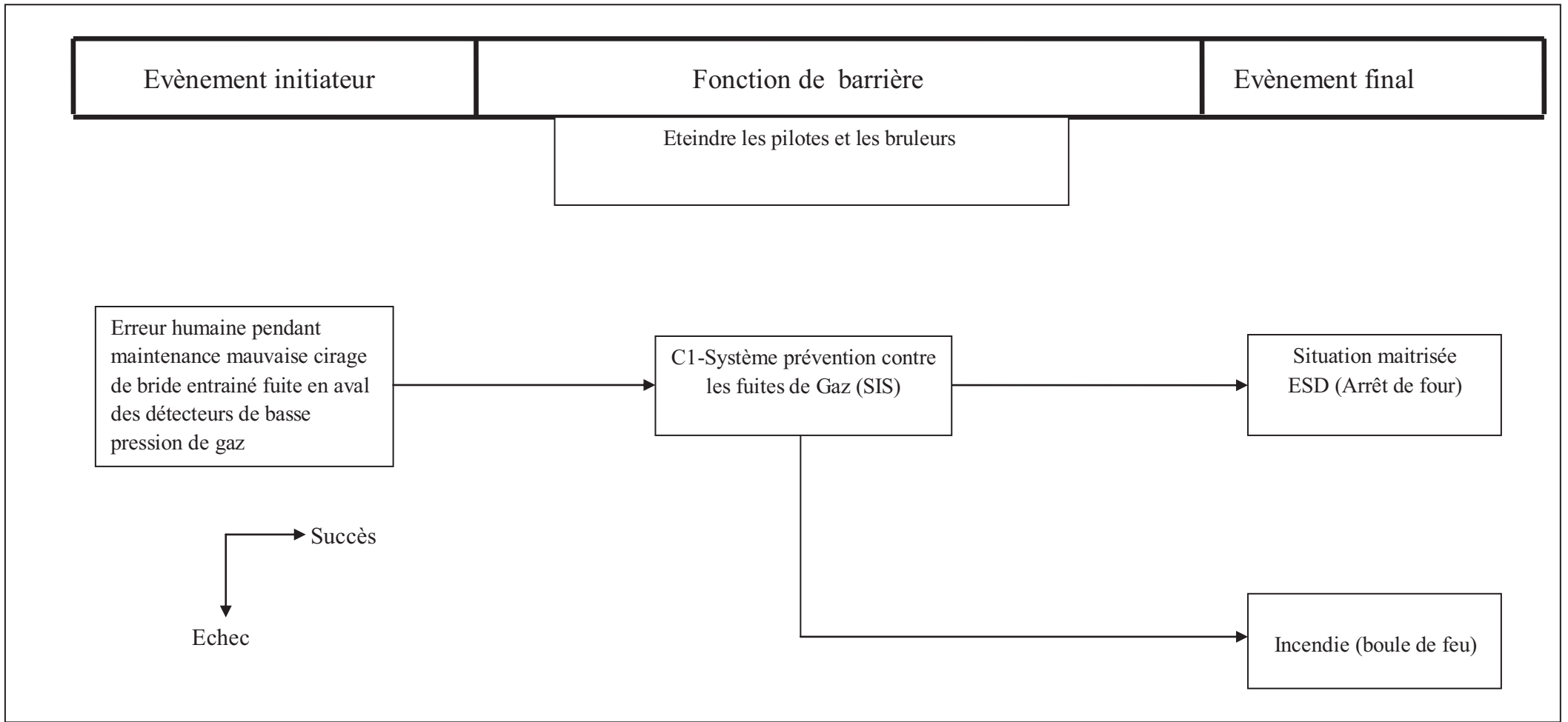
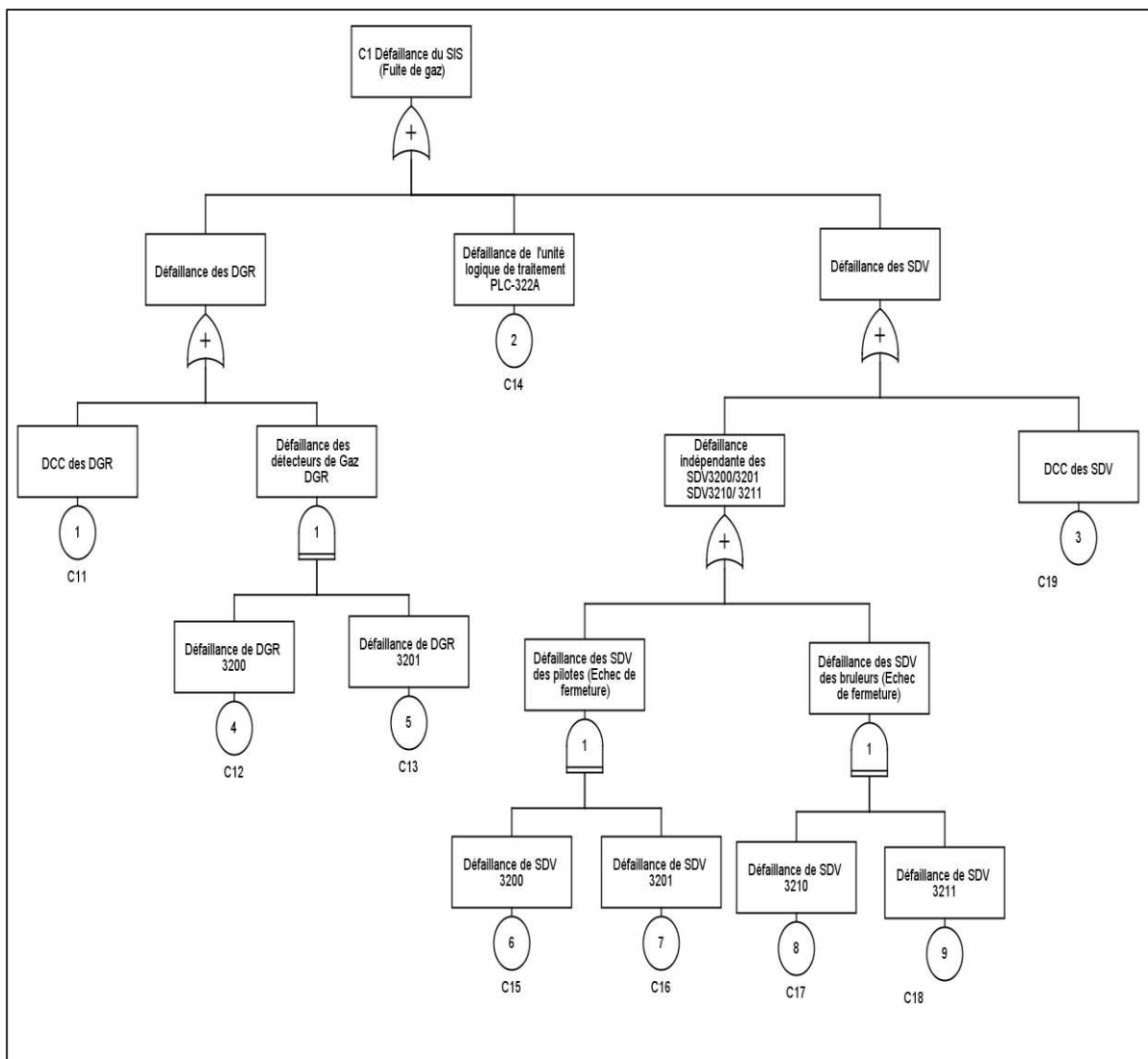


Figure III.31 : Diagramme Block Barrière relatif au scénario d'accident C

➤ **Arbre de défaillance pour la barrière C1**



**Figure III.32 : Arbre de défaillance pour la barrière C1**

**III.9.1. Calcul de probabilités moyennes de défaillance des barrières C1**

Après avoir développé l'AdD de la barrière C1, et à l'aide de l'outil GRIF et le tableau III.5 des taux de défaillance des composants des systèmes barrières ; on a calculé les probabilités moyennes (*Pave*) de défaillance de la barrière C1, et ci-dessous le résultat obtenu :

- ***Pave* (C1) = 6.16 E-2**

**III.9.2. Calcul de la fréquence générique *Fave* (C) de conséquence du scénario C**

De la même manière que dans les deux scénarios A et B.

$$Fave (C) = Fave (C0) . PFDave (C1) \tag{III.10}$$

$$Fave (C) = 6.16 E-4 (/an)$$

➤ Pour l'évènement initiateur C0

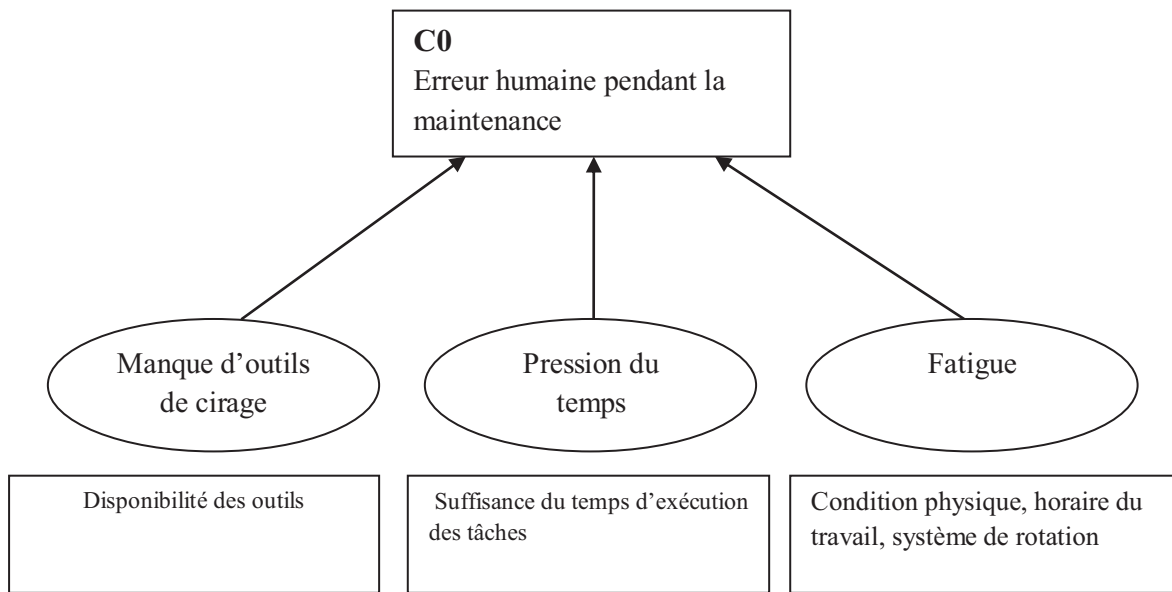


Figure III.33 : Diagramme d'influence de l'évènement initiateur C0

➤ Pour la barrière C1 :

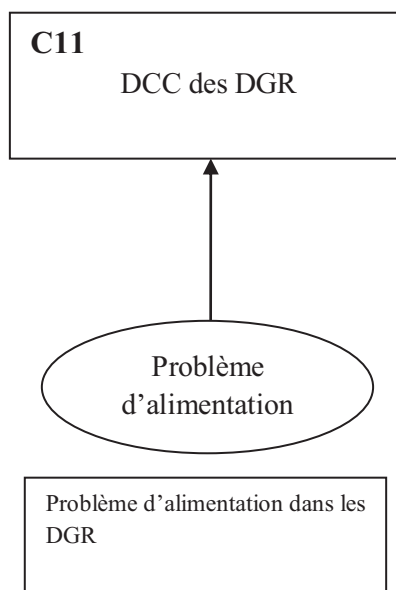
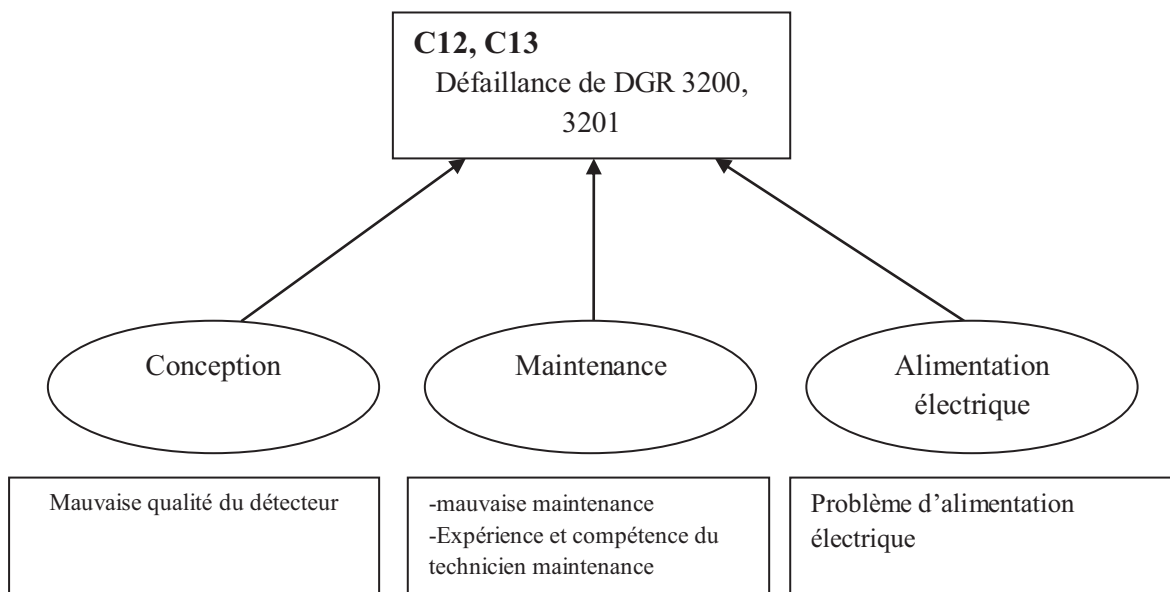


Figure III.34 : Diagramme d'influence de l'évènement de base C11





**Figure III.35 : Diagramme d'influence des événements de base C12, C13**

Les diagrammes d'influence des événements de base C14, C15, C16, C17, C18, C19 sont les mêmes des événements de base A32, A33, A34, A35, A36 et A37 successivement.

### III.9.3. Evaluation des poids $W$ et des scores $Q$ des RIF pour le scénario C

Le tableau III.16 résume toutes les données, les poids, les scores pour tous les RIFs, les facteurs d'ajustement pour le scénario C, les fréquences et les probabilités génériques et révisées.

Tableau III.16 : Scénario C - Les données, poids, scores, et les données révisées

barrière	Evènement initiateur/ de base	Pave	Plow	Phigh	RIFs	Wi	Wi normalisé	Si	Qi	MF	Prev
<b>C0</b>	C0 Erreur humaine pendant la maintenance (mauvais cirage des brides)	<b>1.00 E-2</b>	1.00 E-3	1.00 E-1	C01 Fatigue	4	0.33	B	0.55	0.4735	<b>0.4 E-2</b>
					C02 Pression du temps	6	0.5	B	0.55		
					C03 Manque d'outils de cirage	2	0.17	A	0.1		
<b>C1</b>	Défaillance de système prévention contre les fuites de gaz	<b>6.16 E-2</b>									<b>1.243 E-1</b>
	C11 DCC des DGR	<b>1.87 E-4</b>	1.87 E-5	1.87 E-3	C111 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55	<b>1.00 E-4</b>
	C12 Défaillance de DGR 3200	<b>6.00 E-3</b>	6.00 E-4	6.00 E-2						0.6985	<b>4.19 E-3</b>
					C121 Conception C122 Maintenance C123 Alimentation	2 6 4	0.17 0.5 0.33	A C B	0.1 1 0.55		
	C13 Défaillance de DGR 3201	<b>6.00 E-3</b>	6.00 E-4	6.00 E-2						0.6985	<b>4.19 E-3</b>
					C131 Conception C132 Maintenance C133 Alimentation	2 6 4	0.17 0.5 0.33	A C B	0.1 1 0.55		
	C14 Défaillance de l'unité logique de traitement PLC-322A	<b>6.132 E-3</b>	6.132 E-4	6.132 E-2						0.64	<b>1.95 E-3</b>
					A321 Alimentation électrique A322 Maintenance/test périodique A323 diagnostique/programmation	4 4 2	0.4 0.4 0.2	B C A	0.55 1 0.1		
	C15 Défaillance de SDV 3200	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A331 Corrosion A332 Alimentation électrique A333 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	C16 Défaillance de SDV 3201	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A341 Corrosion A342 Alimentation électrique A343 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	C17 Défaillance de SDV 3210	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A351 Corrosion A352 Alimentation électrique A353 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	C18 Défaillance de SDV 3211	<b>1.12 E-2</b>	1.12 E-3	1.12 E-1						2.65	<b>2.96 E-2</b>
					A361 Corrosion A362 Alimentation électrique A363 Conception	10 4 2	0.625 0.25 0.125	D B A	4 0.55 0.1		
	C19 DCC des SDV	<b>2.25 E-4</b>	2.25 E-5	2.25 E-3	A371 Alimentation	2	1	B	0.55	0.55	<b>1.24 E-4</b>

### III.9.4. Calcul de la fréquence révisée de conséquence du scénario C

La fréquence révisée de conséquence du scénario C se calcule de la manière suivante :

$$Frev (C) = Frev (C0) . PFDrev (C1) \quad (III.11)$$

$$Frev (C) = 4.97 E-4 (\text{/an})$$

### III.9.5. Commentaires sur les résultats obtenus

Les résultats de l'analyse quantitative du scénario C se résument au tableau III.17 et la figure III.36, la fréquence générique de conséquence de scénario C (boule de feu) est 6.16E-4 par an en utilisant les données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue 4.97E-4 par an. Par conséquent, il y' a une diminution de 19%.

Une diminution de 60% de la fréquence de l'évènement initiateur (erreur humaine pendant la maintenance du four) a été enregistrée après l'utilisation des données ajustées.

Une augmentation de 102% de la probabilité de défaillance de la barrière C1, de 6.16 E-2 à 1.243 E-1.

**Tableau III.17 : Scénario C - Résumé de résultats**

Evènement	Données génériques	Données révisées	Changement %
F(C0)	1.00 E-2	4.00 E-3	-60%
P (C1)	6.16 E-2	1.243 E-1	102%
F (C)	<b>6.16 E-4</b>	<b>4.97 E-4</b>	-19%

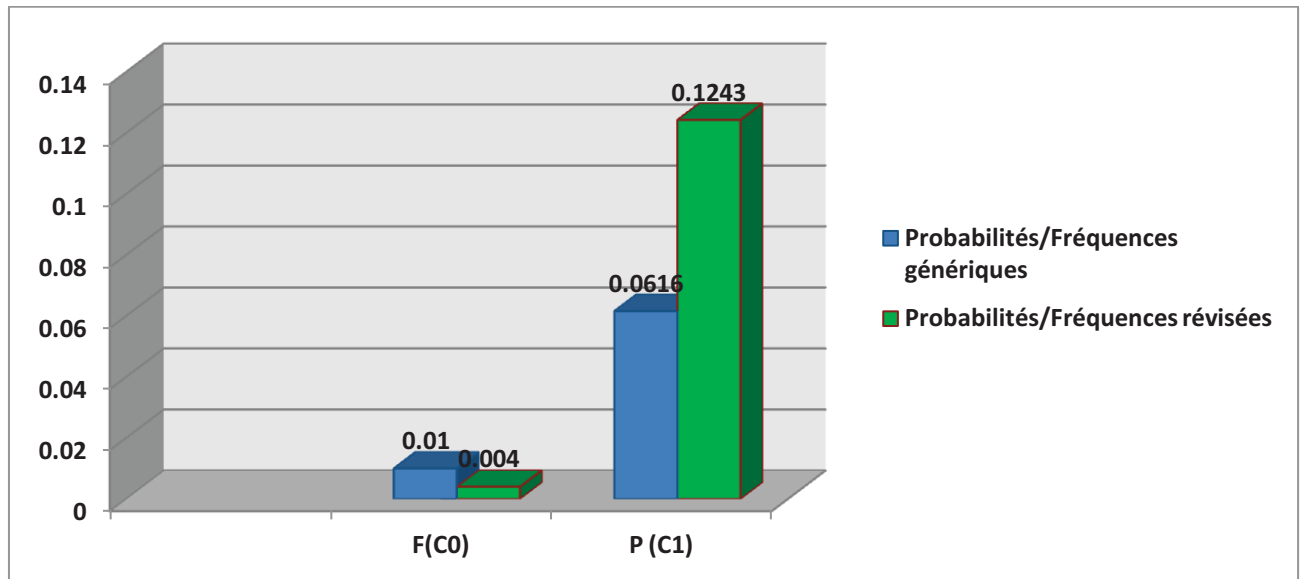


Figure III.36 : scénario C - Résumé de résultats

Le tableau ci-dessous (Tableau III.18) et les figures III.37, III.38 et III.39 résument les résultats obtenus des fréquences de conséquences moyennes et révisées des différents scénarios étudiés.

Tableau III.18 : Fréquences de conséquences moyennes et révisées de différents scénarios

Scénario	Fréquence moyenne	Fréquence révisée	Rapport (%)
F(A)	2.00 E-8	1.41 E-7	6950%
F(B)	1.8 E-7	1.67 E-6	828%
F(C)	6.16 E-4	4.97 E-4	-19%

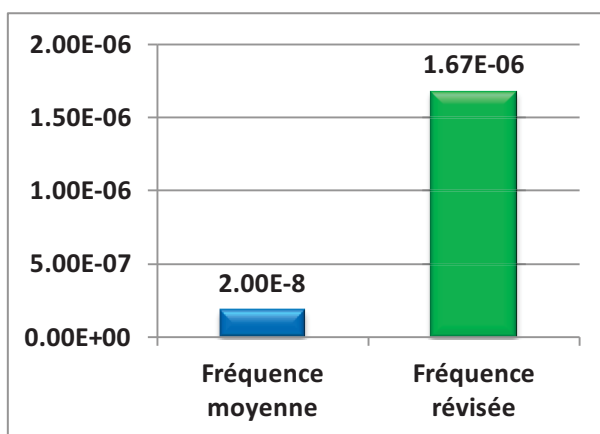


Figure III.37 : Fréquences moyennes et révisées du scénario A

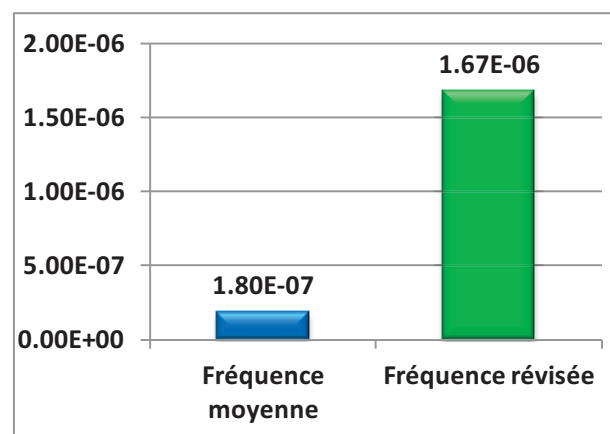


Figure III.38 : Fréquences moyennes et révisées du scénario B

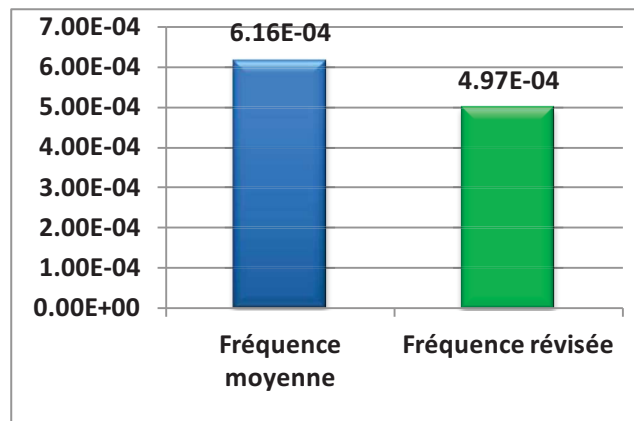


Figure III.39 : Fréquences moyennes et révisées du scénario C

### III.10. Interprétation des résultats et recommandations

L'objectif de cette partie pratique c'est d'étudier l'effet des facteurs d'influence (RIF) sur les événements de base et la défaillance des barrières, de réajuster et corriger la fréquence générique de conséquence des scénarios d'accident et les probabilités génériques de défaillance des barrières, cela a été achevé dans cette analyse et c'était exactement l'objet d'analyser trois scénarios d'accident A, B et C pour confirmer et valider les résultats.

La méthodologie BORA donne des corrections très importantes, cela a été démontré par l'analyse des trois scénarios.

Comme discuté dans les commentaires sur les résultats obtenus par l'analyse BORA, La fréquence générique de conséquence de scénario A (incendie au four) est  $2.00 \text{ E-}8$  par an en utilisant les données génériques, après la révision de cette fréquence elle est devenue  $1.41 \text{ E-}7$  par an. Par conséquent, il y a une augmentation de  $1.21 \text{ E-}7$  par an, et la conséquence est devenue tolérable, la même chose pour le scénario B (explosion), il y a une augmentation de  $1.49 \text{ E-}6$ . Pour le scénario C (boule de feu), il y a une diminution de 19% par an dans la fréquence moyenne après la révision.

Cela explique l'utilité de cette approche, et que dans un système opérationnel ; les RIF jouent un rôle essentiel dans la correction et le réajustement des résultats obtenus par des données moyennes (génériques).

Cette étude nous permet de proposer des recommandations bien précises dans tous les aspects humains, techniques, et organisationnels :

- Fiabilisation du système d'huile chaude par ajouter d'autres SDV pour les SDV des bruleurs et pilotes (architecture 1003) dont le but c'est d'augmenter le SIL.
- Ajouter un détecteur du gaz DGR (architecture 2003)
- La formation du personnel et la création d'une procédure sérieuse d'évaluation de compétence, et l'affectation du personnel expérimenté pour l'exécution des tâches spécifiques et sensibles de haute technicité.
- Assurer un bon système d'horaire et de rotation du travail, et que l'effectif est suffisant pour que les opérateurs ne souffriront pas de la fatigue.
- Assurer que le temps d'exécution des tâches est suffisant.
- La création d'une sérieuse procédure de gestion de stock, pour assurer la disponibilité des outils de maintenance.
- Assurer une bonne conception des équipements et barrières inclus dans le système technique.
- Inspection des circuits d'alimentation électrique pour confirmer qu'ils sont dans un bon état.
- Création d'une très bonne procédure de maintenance et de test périodiques.
- Inspection des barrières et assurer qu'il n'y a pas de corrosion qui peut affecter le fonctionnement du système.
- Assurer une bonne communication, et disponibilité des outils.

### III.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la méthodologie BORA à un système opérationnel (Four de chauffe d'huile 06-H321A), nous avons pris trois scénarios d'accident ; A (incendie au four), B (explosion au four) et C (boule de feu), nous avons passé par toute une analyse fonctionnelle du système étudié par SADT et HAZOP qui font l'objet de comprendre le fonctionnement du système et la détermination des événements initiateurs.

Nous avons déterminé les barrières de sécurité pour chaque scénario à l'aide des DBB, et des AdD pour chaque barrière.

Après le développement des AdD, nous avons calculé les probabilités moyennes de défaillance des barrières et les fréquences de conséquence de tous les scénarios, l'étape suivante qui représente la spécificité de la méthodologie BORA, c'est de développer des diagrammes d'influence pour chaque événement de base, et d'évaluer le poids et le score de chaque facteur d'influence, après la révision des probabilités et fréquences moyennes, nous avons eu des résultats remarquables, deux fréquences de conséquence scénarios (A et B) sont devenue tolérables, et la

conséquence de scénario C est devenue moins grave, ce qui prouve l'utilité de cette approche.

### III.12. Références bibliographiques

- [1] Vinnem, J.E., Aven, T., Husebø, T., Seljelid, J. and Tveit, O. (2006) *Major hazard risk indicators for monitoring of trends in the Norwegian offshore petroleum sector. Reliability Engineering & Systems Safety, Volume 91, Issues 7, July 2006, 778–791*
- [2] Aven, T., Sklet, S., and Vinnem, J.E. 2006. *Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORARelease); Part I Method description, Journal of Hazardous Materials, A137, 681–691*
- [3] SINTEF *reliability data for safety instrumented system, PDS data handbook 2010 Edition.*
- [4] OREDA, 2002. *Offshore Reliability Data Handbook, 4th ed. DNV Technica, Norway.*
- [5] Michel Lissandre, *Maîtriser SADT, Colin, 1990.*
- [6] IEC 61882, 2001. *Etude de danger et d'exploitabilité (étude HAZOP) – guide d'application. International Electrotechnical Commission.*
- [7] ICSI 2009, Groupe de travail ICSI. *Fréquence des événements initiateurs d'accident et disponibilité des barrières de protection et de prévention. Institut pour une Culture de sécurité industrielle.*

## Conclusion générale

---

L'objectif principal de ce mémoire est d'appliquer l'approche BORA sur le processus de pétrole et de gaz en particulier dans l'industrie algérienne. Son objectif est de faire apparaître les avantages de son application en matière d'analyse des barrières de sécurité, de surmonter aussi les limites de cette approche en termes de manque de données et d'utilisation jugements d'experts.

Comme avantages:

- L'approche BORA a montré son applicabilité et la faisabilité dans le processus de pétrole et de gaz dans l'industrie algérienne à l'aide des résultats donnés par sa mise en œuvre en termes d'analyse des risques et barrières de sécurité performances opérationnelles. En outre, il a été apprécié par les analystes de risque et des experts de processus.
- La technique de BORA semble plus précise et convaincante avec le processus complexe. En fait, son analyse qualitative utilisant barrière blocs diagrammes, arbres de défaillance. En fait, le scénario d'explosion est analysé après la survenance d'un événement déclencheur et les échecs des barrières de sécurité. En outre, une influence des risques schéma était en faveur de ce scénario en analysant pour chaque événement de base, les facteurs qui influent sur ce qui a contribué à la survenance de cet accident. Par conséquent, la prise de décision concernant la réduction des risques est plus précise.
- Un autre avantage a été prouvé; concernant l'ajustement et la correction faite sur les fréquences génériques d'événements initiateurs et les probabilités de défaillance sur demande (PFD) de barrières de sécurité. En conséquence, le calcul de la fréquence d'explosion scénario tenant compte de l'analyse des RIFs a donné une augmentation de certaines fréquences d'occurrence de l'explosion.

Dans ce contexte, le manque de connaissances associée aux paramètres d'entrée (générique d'événement de base, probabilités moyennes / fréquences) pour le



calcul de la fréquence de l'explosion a été ajusté de la cession de scores et le poids des RIFs pour ces paramètres.

Cependant, la mise en œuvre de BORA présente quelques difficultés et limitations:

- Malgré l'ajustement des données génériques qui offert par cette technique, le manque et la subjectivité des données restent toujours un problème important qui faisait face par les analystes de risque.
- Sa toute la nécessité de se référer à l'expert du jugement, même si ce sera bien justifié et devient même une source de données qui ne pouvaient pas être contourné.
- Dans la pratique, il y' a très peu d'informations disponibles pour établir le poids des RIF. En outre, un ensemble de données utilisé pour quantifier les RIF semble subjective; par conséquent, il est nécessaire de prendre en considération la qualité de l'information.

#### **Perspectives :**

- Une étude de cas industrielle basée sur un procédé de traitement du gaz "Four de chauffe d'huile " a été analysée grâce à l'approche BORA. Les résultats ont montré que la réduction des risques évaluée uniquement en fonction de la fréquence des accidents calculée à l'aide des valeurs génériques de paramètres entrées (sans tenir compte des facteurs opérationnels humains, organisationnels) ne peut pas être suffisante et peut induire en erreur le processus de prise de décision. Cependant, les bases de données et le jugement d'experts, qui ont basé sur l'analyse BORA, ne sont pas dans tous les cas crédibles, Fiables et objectives.
- Dans un travail futur, nous allons développer l'approche BORA afin d'examiner toutes ses limites concernant le manque de données, et l'utilisation de jugements d'experts.