



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

### Thème

**Analyse de la sensibilité des facteurs  
d'importances sur un arbre de défaillance.**

Présenté et soutenu publiquement par :

**BENAÏSSA Islem**

**TALBI Djihane**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BENOMER Fatima	MAA	IMSI/Univ2	Présidente
AISSANI Nassima	MCB	IMSI/Univ2	Encadreur
TALBI Zahira	MAA	IMSI/Univ2	Examinatrice

Jun 2017

## REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département de sécurité industrielle et environnement à l'institut de maintenance et sécurité industrielle –Université d'Oran 2.

Nous tenons, tout d'abord à remercier le dieu le tout puissant qui nous à donné la force, la patience et la volonte pour accomplir ce modeste travail.

Nous voudrions, exprimer notre sincère gratitude à Mme AISSANI Nassima, qui a accepté d'être notre encadreur et qui nous a toujours soutenu dans notre travail. Nous la remercions pour ses conseils judicieux, ses remarques qui nous ont permis d'améliorer ce manuscrit et pour l'intérêt qu'elle a porté à notre travail.

Nous tenons à remercier Mme BENOMER et Mme TALBI pour l'honneur qu'elles nous font en acceptant de participer au jury de ce mémoire et pour avoir eu la patience de relire et corriger les versions préliminaires de ce mémoire.

Nos plus vifs remerciements s'adressent à tous le cadre professionnel et administratif de la raffinerie d'Arzew pour son aide.

De même nous remercions tous les collègues que nous avons pu rencontrer lors de nos années universitaires, ceux-ci étant trop nombreux, nous ne pouvons les citer tous

Nous voudrions rendre hommage à tous ceux qui, de près ou de loin, à leur manière nous ont aidés à mener en bien ce travail.

Enfin, nous avons également une pensée très forte pour nos familles, et surtout nos parents qui nous ont soutenu au cours de ces années d'études et pour leur encouragement et leur soutien moral aussi pour la compréhension des impératifs qu'entraîne un tel travail.

## **DEDICASE**

Nous avons le grand honneur de dédier ce travail :

- A ceux qui nous ont fait de nous des femmes, nos chers parents et qui nous ont toujours encouragé au cours de notre cursus d'étude.
  - A toutes les familles BENAÏSSA et TALBI.
- A nos collègues de la 2ème année master sécurité industrielle et environnement.
  - A tous ceux qui nous aiment beaucoup, et à nos amis.

## Table des matières

Liste des figures.....	06
Liste des tableaux.....	07
Résumé .....	08
Introduction générale .....	11
Partie théorique .....	13
Chapitre I. Les méthodes quantitatives pour l'analyse des risques .....	13
I.1. Introduction .....	14
I.2. Analyse de risque .....	14
I.2.1. Définition d'analyse de risque .....	14
I.2.2. L'analyse de risque en 5 étapes .....	15
I.3. Les méthodes générales pour l'étude des risques.....	16
I.3.1. Méthode HACCP .....	20
I.3.2. Méthode MOZAR .....	20
I.3.3. L'analyse préliminaire des risques/ dangers .....	21
I.3.4. L'AMDE et l'AMDEC .....	22
I.3.5. Méthode HAZOP.....	23
I.3.6. Méthode what if.....	24
I.3.7. L'arbre d'événement .....	24
I.3.8. Nœud de papillon.....	25
I.3.9. L'arbre des défaillance .....	26
I.3.10. L'arbre des causes.....	27
I.4. conclusion.....	27

Chapitre II. L'arbre de défaillance .....	28
II.1.Introduction .....	29
II.2. Historique et domaine d'application .....	29
II.3. Principe.....	30
II.3.1. Définition de l'évènement redouté.....	31
II.3.2. Elaboration de l'arbre.....	31
II.3.3 Exploitation de l'arbre .....	34
II.3.3.1. Coupes minimales-réduction de l'arbre .....	34
II.3.3.2. Exploitation qualitative de l'arbre .....	36
II.3.3.3. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillance .....	36
II.4. Représentation graphique.....	39
II.5. Facteurs d'importance .....	43
II..1 Principe.....	43
II.5.2. Définition.....	43
II.5.2.1. Facteur d'importance marginale.....	43
II.5.2.2. Facteur d'importance critique .....	44
II.5.2.3. Facteur de diagnostic.....	45
II.5.2.4. Facteur d'augmentation du risque.....	45
II.5.2.5. Facteur de diminution de risque.....	46
II.6. Conclusion .....	45
Partie pratique .....	47
Chapitre I. L'étude de cas (la raffinerie) .....	47

I.1.Introduction .....	48
I.2. Présentation de la raffinerie .....	48
I.2.1. Présentation et petit historique de la raffinerie d'Arzew .....	48
I.2.2. Présentation des unités de la raffinerie.....	50
I.2.2.1 Les utilités.....	50
I.2.2.2. Les carburants .....	50
I.2.2.3. Les bitumes .....	51
I.2.2.4. Les lubrifiants.....	51
I.3. Les principaux risques dans la raffinerie.....	54
I.4. L'unité 3100 .....	57
I.4.1. Présentation de l'unité 3100 .....	57
I.4.2. Les risques au sein de l'unité 3100.....	61
I.4.3. La liste des équipements dans l'unité 3100 .....	62
I.5. Le système de maintenance G .....	63
I.5.1. Définition de la maintenance.....	63
I.5.2. Définition de système G.....	63
I.5.3. Le manuel d'organisation de la maintenance.....	64
I.5.4. Bilan 2008 de l'unité 3100.....	67
I.6. Conclusion .....	68
Chapitre II. Réalisation de l'arbre de défaillance.....	69
II.1Introduction .....	70
II.2. construction de l'arbre.....	70
II.3. Analyse de l'arbre .....	82

II.3.1 Description structurelle de l'arbre.....	82
II.3.1.1 les coupes minimale .....	83
II.3.1.1.1 l'interprétation de la figure.....	84
II.3.1.2. les facteurs d'importance .....	87
II.3.1.2.1 l'interprétation de la figure.....	88
II.6.Conclusion .....	90
Conclusion générale .....	91
Bibliographie .....	92
Annexe.....	93.

## Liste des figures

### Partie théorique

I.1. la courbe Farmer.....	16
I.2.représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon .....	25
II.1.démarche pour élaboration d'un arbre des défaillances .....	36
II.2.réduction de l'arbre des défaillances puis en exemple (Villemeur, 1988) .....	39
II.3. déterminations de la probabilité de l'événement finale .....	42

### Partie pratique

I.1. Schémasimple de la raffinerie d'Arzew .....	49
I.2.l'unité des huiles fines au niveau de la raffinerie d'Arzew .....	57
I.3. points de contrôle qualités –huiles finies et graisses U 3100.....	60

II.1.l'arbre de defaillance principale .....	71
II.2.le transfert de lasous-arbre N°1 .....	72
II.3.le transfert de lasous-arbre N°2 .....	73
II.4.le transfert de lasous-arbre N°3 .....	74
II.5.l'arbre de defaillance principale .....	78
II.6.le transfert de la sous-arbre N°1 .....	79
II.7.le transfert de lasous-arbre N°1 .....	80
II.8.le transfert de lasous-arbre N°1 .....	81
II.9.le schemareprésente l'exécution de l'arbre.....	82
II.10.le schemarepresente les coupes minimales de l'arbre .....	84
II.11.le schemarepresente les facteurs d'importance.....	87

## Liste des tableaux

### Partie théorique

I.1. Les critères de choix pour les principales méthodes d'identification des dangers	18
I.2. Considérations pour le choix du type d'analyse et de la profondeur de l'étude ....	19
II.1. Symboles et tables de vérités de portes logiques .....	34
II.2. Quelques unes des principales règles de l'algèbre de Boole.....	38
II.3. Les potes logiques .....	41

### Partie pratiques

I.1. Liste des équipements de l'unité 3100 .....	99
I.2. Bilande l'unité 3100 (département maintenance) le 01/03/ 2008 .....	67
II.1.le tableau représente les probabilités d'occurrence des évènements de base .....	75

## Résumé

Ce mémoire représente une analyse quantitative des scénarios de défaillance de l'unité 3100 des huiles finies de la raffinerie d'Arzew NAFTEC/RA1Z.

Cette analyse permet d'identifier clairement les risques et leurs causes avec quantification de probabilité d'Occurrence. L'arbre de défaillance est l'une de ces méthodes, notre objectif est de réaliser une analyse par arbre de défaillance et d'effectuer une analyse poussé en utilisant les facteurs d'importance.

Mots clés : risque, analyse quantitative, arbre de défaillance, unité 3100, probabilité d'occurrence, facteurs d'importance

## **Abstract**

This brief consists of a quantitative analysis of the failure scenarios of the 3100 unit of the finished oils in NAFTEC / RA1Z refineryArzew.

This analysis makes it possible to clearly identify the risks and their causes with quantification of Occurrence probability. The failure tree is one of these methods, our goal is to perform a fault tree analysis and perform a thorough analysis using the factors of importance.

Key words: risk, quantitative analysis, failure tree, unit 3100, probability of occurrence, factors of importance

هذه تشمل التحليل الكمي لسيناريوهات فشل وحدة 3100 للزيوت النهائية بمصفاة ارزيو.

هذا التحليل يجدد بشكل واضح المخاطر و أسبابها مع احتمال حدوث تكميم. شجرة الخطأ هي واحدة من بين هذه الطرق، وهدفنا هو تحقيق تحليل شجرة الخطأ باستخدام العوامل الهامة.

كلمات البحث هي.. المخاطر - التحليل الكمي - 3100 - عوامل هامة.

## Introduction générale

Actuellement, le monde industriel est devenu plus sensible à la maîtrise des accidents majeurs à cause des conséquences graves et même catastrophiques matériels, humaines et environnementales.

De plus, l'ingénieur lui est bien souvent impossible de connaître exactement l'état du système avant de prendre une décision, car l'état des composants n'est en général pas directement ni instantanément observables. La décision va donc porter sur un fonctionnement à venir du système. Cette perception imparfaite est en faveur de l'utilisation d'une évaluation probabiliste de l'état de système.

Devant ce défi, les industries doivent défendre leur existence en instaurant une stratégie de gestion des risques et en mettant en place des méthodes d'analyse et d'évaluation de ces risques pour garantir que leurs installations fonctionnent dans tout sécurité.

Le projet que nous sommes en vue de mener en fin de notre master en sécurité industrielle et environnement est une étude probabiliste prédictive d'un système industriel à risque qui est l'unité 3100 au sein de la raffinerie d'Arzew. Nous nous sommes intéressées à cette unité pour la disponibilité des données.

Notre objectif est de réaliser une analyse par une méthode quantitative qui permet d'identifier clairement les risques et leurs causes avec quantification de probabilité d'occurrence qui est arbre de défaillance et d'identifier une analyse poussée, complémentaire, exhaustive en utilisant les facteurs d'importance.

Effectivement, l'arbre-analyste est un nouvel outil libre de diffusion et d'utilisation dont le but de standardiser et de pérenniser les modalisations par arbres de défaillances en s'appuyant sur deux piliers : le format open- PSA et le moteur de calcul XFTA. Cet outil peut être employé dans les différents secteurs industriels pour lesquels une étude de sûreté de fonctionnement par arbres de défaillance est nécessaire.

Arbre-analyste permet d'éditer, d'afficher, de calculer, de traiter les résultats des calculs et d'exporter des arbres de défaillances vers différentes outils de modélisation du marché.

Le présent mémoire est subdivisé en deux parties :

Une partie théorique comportant deux chapitres :

Le premier chapitre intitulé « les méthodes quantitatives pour l'analyse des risques », nous aborderons les méthodes générales d'analyse de risque en décrivant brièvement leurs principes de déroulement afin de présenter le cadre global de ce mémoire.

Dans Le deuxième chapitre est consacré à une présentation détaillée de la méthode arbre de défaillance.

Une partie pratique composée deux chapitres :

Le premier chapitre présentera le cas qui sera analysé dans le chapitre suivant. Le système maintenance G adopté par la raffinerie sera aussi présenté afin de définir ses retombés sur la sûreté de fonctionnement dans la raffinerie.

Et le dernier chapitre présente l'arbre développées, les probabilités renseignées et les expérimentations qui ont été réalisées par simulation l'unité 3100 de la raffinerie d'Arzew NAFTEC/RA1Z.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion décrivant le travail réalisé et les perspectives envisagées.

## **Partie théorique**

### **Chapitre I. Les méthodes quantitatives pour l'analyse des risques.**

## **I.1.Introduction**

Actuellement les industries sont confrontées à des problèmes industriels qui menacent leur pérennité et remettent en causes leurs objectifs. Devant ce défi, les industries doivent défendre leur existence en instaurant une stratégie de gestion des risques et en mettant en place des méthodes d'analyse et d'évaluation de ces risques pour garantir que leurs installations fonctionnent dans tout sécurité.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps donner quelques concepts et définitions liés à l'analyse de risque et décrire les étapes d'analyse de risque. Ensuite nous allons aborder les méthodes générales d'analyse des risques en décrivant brièvement leurs principes de déroulement.

## **I.2. Analyse de risque**

L'analyse de risque vise à organiser les informations disponibles sur un sujet donné et les traduire en probabilités après en déduire logiquement des règles de décision [1].

### **I.2.1. Définition : l'analyse de risque**

L'analyse des risques est une émanation de la nouvelle approche de la législation en matière de bien-être au travail. Autrefois, la réglementation consistait en un recueil de prescriptions techniques très précises: on imposait la façon dont un appareil devait être construit et dans de nombreux cas aussi comment il fallait l'utiliser pour garantir la sécurité et la santé. Une telle façon de réglementer offre l'avantage d'être très claire, chacun sait ce qu'il doit faire pour respecter la réglementation et le cas échéant introduire une demande de dérogation. D'un autre côté, celle-ci présente l'inconvénient d'être très rigide et sa mise à jour devient impossible dans la pratique. La science et les techniques évoluent si vite qu'il n'est plus possible d'adapter une réglementation reposant de façon exclusive sur des obligations de moyens. C'est pourquoi une nouvelle approche était nécessaire, combinant des obligations de moyens et des obligations de résultats. L'employeur a la liberté de choisir lui-même et de dégager les moyens pour atteindre les objectifs en terme de travail sain et sûr, de situations de travail le plus proche possible du bien-être au travail.

Cette nouvelle approche présente l'avantage d'une réglementation qui reste actuelle et qui laisse une marge pour résoudre de façon créative les problèmes de bien-être au travail. De plus, elle offre un point d'ancrage important: l'analyse des risques.

Le risque peut en effet se définir comme la probabilité de ne pas atteindre l'objectif de maintien du bien-être au travail et l'analyse des risques comme une démarche destinée à identifier et préciser les mesures qui doivent être prises pour pouvoir réaliser les objectifs aussi définie comme l'ensemble des activités ayant pour but d'identifier de façon systématique et permanente les dangers et les facteurs de risque et de déterminer et d'évaluer le risque en vue de fixer des mesures de prévention [2].

### **I.2.2. L'A.R. en 5 étapes[3]**

- 1- Traiter le Danger et pour cela identifier les processus de dangers c'est-à-dire l'enchaînement d'événements issus de systèmes sources de dangers et pouvant conduire à des ENS (événement non souhaité). Ce travail d'évaluation peut se faire en mettant en œuvre le modèle MADS. (Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes).
- 2- Représenter l'enchaînement des événements conduisant à l'ENS, conduit à des représentations du type arbres logiques ou réseaux. Ce travail met en œuvre des outils du type Arbres de Défaillances (ADD), Arbres d'Événements, Arbres Causes-Conséquences, Réseaux de Pétri, Chaînes de Markov, qui permettent aussi de calculer les probabilités de ces événements dans certains cas.
- 3- Pour déterminer la Gravité des ENS on détermine leur impact sur les cibles. Celui-ci peut être immédiat mais aussi différé traduisant des états de la cible dans le temps. Certains de ces états différés sont difficiles à prévoir, d'où le principe de précaution.
- 4- La détermination de l'acceptabilité se fait par négociation de tous les acteurs concernés dont les cibles. Dans certains cas, des limites peuvent être imposées par une réglementation (cas du nucléaire) ou par une règle spécifique (cas des installations classées). Parmi les outils possibles voici les grilles Gravité \* Probabilité. Ce sont des outils simples et assez faciles à mettre en œuvre. Elles permettent de situer les scénarios d'accidents et de les hiérarchiser. On en trouvera un exemple ci-après..

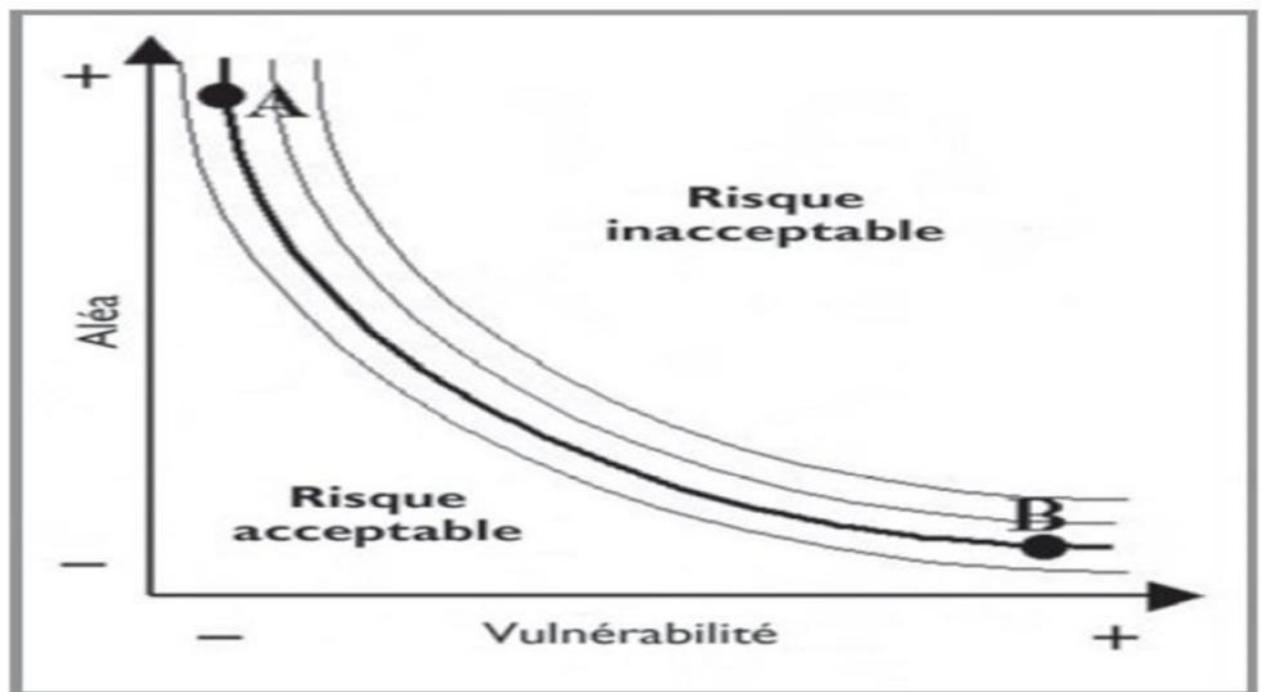


Fig.1 la courbe de farmer [3].

La négociation de ces grilles se fait à deux niveaux : tout d'abord négocier comment l'on gradue les axes et ensuite négocier la position de la frontière entre l'acceptable et l'inacceptable.

5- La neutralisation des risques se fait par la recherche de toutes les barrières de prévention et de protection qu'il est possible d'identifier pour éviter la production d'événements et leur enchaînement. Ces barrières sont de nature technique et opératoire. Il est nécessaire de les qualifier dans le temps pour s'assurer de leur pérennité. Une fois ces barrières établies on peut vérifier si le risque est devenu acceptable en resituant les scénarios dans les grilles GP (Gravité\*Prababilité).

### 1.3.les Méthodes générales pour l'étude des risques

Dans cette partie nous allons traiter différentes méthodes d'analyse de risques. Cette partie est basée dans sa majorité sur le rapport « RiskAnalysis » .

Toutes ces méthodes ont deux approches différentes des risques. Une approche Quantitative, qui va donner comme sortie des fréquences et probabilités des risques. Et une approche qualitative qui va lister et classer ces risques.

Les méthodes présentées sont en majorité des méthodes quantitatives qui vont quantifier les risques par rapport à un ou plusieurs aléas et leurs interactions [4].

Toutes ces méthodes vont se baser sur une conception du risque comme une liste de scénarios et des conséquences, avec les fréquences correspondantes. Normalement, lorsque nous faisons une analyse des risques nous combinons toutes les dimensions du risque dans une seule (R), dans le but de pouvoir hiérarchiser les conséquences [4].

Les tableaux suivants présentent les critères de choix pour les principales méthodes d'identification des dangers et d'analyse des risques aussi les considérations pour le choix du type d'analyse et de la profondeur de l'étude

Questions	Réponses à considérer
Quelle est la phase de développement du système?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conception préliminaire</li> <li>• Conception détaillée</li> <li>• Construction</li> <li>• Exploitation</li> <li>• ...</li> </ul>
Quel est l'objectif de l'étude?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sélection des mesures de réduction des risques</li> <li>• Comparaison à l'objectif du risque</li> <li>• Comparaison entre solutions différentes</li> <li>• ...</li> </ul>
Quels sont les types de système et les dangers analysés?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système simple</li> <li>• Système complexe</li> <li>• Dangers technologiques</li> <li>• ...</li> </ul>
Quelle est la gravité potentielle des conséquences d'un accident?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grand nombre d'issues fatales</li> <li>• Une seule blessure ou issue fatale</li> <li>• Dommages environnementaux</li> <li>• Perte financière</li> <li>• ...</li> </ul>
Quel est le niveau de ressources disponibles pour effectuer l'analyse?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps et expertise limités</li> <li>• Temps et capacité étendus pour l'obtention d'avis d'experts</li> <li>• ...</li> </ul>
Quelles sont les informations disponibles sur le système à analyser?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étude conceptuelle</li> <li>• Conception détaillée</li> <li>• Données opérationnelles</li> <li>• ...</li> </ul>
Sera-t-il nécessaire de mettre à jour l'étude?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activité ponctuelle</li> <li>• Activité continue</li> <li>• ...</li> </ul>
Existe-t-il des exigences réglementaires ou contractuelles?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non</li> <li>• Choix limités</li> <li>• Pas de choix</li> </ul>

Tableau 1 - Critères de choix pour les principales méthodes d'identification des dangers et d'analyse des risques [5].

<i>Méthodes</i>	<i>Approche</i>	<i>Défaillances envisagées</i>	<i>Niveau de détail</i>	<i>Domaines d'application privilégiés</i>
APR	Inductive	Indépendantes	+	Installations les moins complexes Étape préliminaire d'analyse
Liste de contrôle	Inductive	Indépendantes	+	Installations les moins complexes
Et-si?	Inductive	Indépendantes	++	Divers systèmes
HAZOP	Inductive	Indépendantes	++	Divers systèmes Logiciels
AMDEC	Inductive	Indépendantes	++	Sous-ensembles techniques bien délimités Logiciels
Arbre de panne	Déductive	Combinées	+++	Événements redoutés ou indésirables préalablement identifiés
Arbre d'événements	Inductive	Combinées	+++	Défaillances préalablement identifiées
RMP/CRAIM	Quantitative	Indépendantes	++++	Application des règlements d'Environnement Canada et de la Sécurité Civile

Tableau 2 - Considérations pour le choix du type d'analyse et de la profondeur de l'étude [5]

La plupart de méthodes utilisées dans l'analyse de risques, elles sont énumérées **ci-dessous**[6] :

### **I.3.1. Méthode HACCP**

La méthode HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) correspond à l'analyse des dangers et points critiques pour leur maîtrise.

"La méthode HACCP est une approche systématique d'identification, de localisation, d'évaluation et de maîtrise des risques potentiels en matière de salubrité des denrées dans la chaîne alimentaire." *Définition donnée par la FERCO (Fédération Européenne de Restauration Collective)*

Son idée force est d'identifier des risques spécifiques, de déterminer des points de contrôle de ces risques et de définir des mesures préventives à adopter en vue de maîtriser ces risques.

Le Système des points de contrôle critique pour l'analyse des risques (HACCP) est un programme largement accepté pour la gestion de la sécurité sanitaire des aliments. En tant que partie intégrante du programme de la FAO destiné à aider les pays à consolider leurs systèmes de production et à garantir l'innocuité de leurs denrées, le Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires (ESNS) a collaboré avec les organismes publics et l'industrie alimentaire en vue d'appliquer le HACCP.

### **I.3.2. MOSAR, Méthode Organisée Systémique d'Analyse des risques**

est une méthode générique qui permet d'analyser les risques techniques d'une installation humaine et d'identifier les moyens de prévention nécessaires pour les neutraliser. Elle s'applique aussi bien dès la conception d'une installation nouvelle qu'au diagnostic d'une installation existante. Elle constitue un outil d'aide à la décision par les choix qu'elle met en évidence.

Cette méthodologie permet d'appréhender des événements non souhaités. Appréhender consiste à.

-Représenter les systèmes d'où sont issus (systèmes sources) et sur lesquels (systèmes cibles) s'appliquent les événements non souhaités.

-Mettre en relation les systèmes source et cible afin de modéliser le processus de danger.

-Identifier, évaluer, maîtriser, gérer et manager les événements non souhaités dans les systèmes complexes et variés, à priori (prévention) et à posteriori (retour d'expérience)

Les événements non souhaités (ENS) sont les dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaitables sur l'individu, la population, l'écosystème et l'installation. Les événements non souhaités peuvent être de deux natures : ils peuvent provenir du système source et aussi agir sur le système cible.

### **I.3.3. L'analyse Préliminaire des Risques / Dangers (APR/D)**

L'analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent

:

- Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités...
- des équipements dangereux comme par exemple des stockages, zones de réception expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...).
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

L'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée. À titre indicatif, on pourra se référer à la liste fournie en Annexe 2. Il est également à noter que l'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode.

À partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs situations de dangers. Dans le cadre de ce document, une situation de dangers est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition de cibles à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Le groupe de travail doit alors en déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de dangers identifiés puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'améliorations doivent alors être envisagées.

### **I.3.4. L'AMDE et l'AMDEC**

L'analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets repose notamment sur les concepts de :

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

En pratique, il est souvent difficile de bien distinguer ces différentes notions. La maîtrise de ce vocabulaire est néanmoins primordiale pour une bonne utilisation de cet outil.

Pour illustrer ces différents concepts, prenons l'exemple d'une pompe. Dans des conditions normales d'exploitation, la fonction de cette pompe est sera définie comme son aptitude à fournir un débit donné à sa sortie. Si le débit en sortie de pompe est nul, nettement inférieur ou supérieur à ce débit défini, la pompe sera dite « défaillante ». Si, en cours d'exploitation, la pompe s'arrête de façon non désirée, on assistera bien à une défaillance de la pompe. Le fait que la pompe s'arrête constitue donc un effet par lequel une défaillance est observée ; il s'agit d'un mode de défaillance.

La coupure de courant qui a entraîné l'arrêt de la pompe sera alors définie comme une des causes de ce mode de défaillance. L'arrêt de l'approvisionnement du réacteur alimenté par cette pompe suivie d'une dégradation du produit de synthèse constitueront des conséquences de cette défaillance.

L'AMDE est une méthode inductive d'analyse qui permet :

- d'évaluer les effets et la séquence d'événements provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système,

- Déterminer l'importance de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et en évaluer l'impact sur la fiabilité, la sécurité du système considéré,
- Hiérarchiser les modes de défaillances connus suivant la facilité que l'on a à les détecter et les traiter.

Lorsqu'il est nécessaire d'évaluer la criticité d'une défaillance (probabilité et gravité), l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) apparaît comme une suite logique à l'AMDE.

### **I.3.5. L'Hazop (HAZardOperability)**

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit... L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDE qui est centré sur les composants. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique par la conjonction :

- de mots clés comme par exemple « Pas de » ; « Plus de » ; « Moins de » ; « Trop de »
- des paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la température, la pression, le débit, la concentration mais également le temps ou des opérations à effectuer

Le groupe de travail doit ainsi s'attacher à déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces dérives et à identifier les moyens existants permettant de détecter cette dérive, d'en prévenir l'occurrence ou d'en limiter les effets. Le cas échéant, le groupe de travail pourra proposer des mesures correctives à engager en vue de tendre vers plus de sécurité. A l'origine, l'HAZOP n'a pas été prévue pour procéder à une estimation de la probabilité d'occurrence des dérives ou de la gravité de leurs conséquences. Cet outil est donc parfois qualifié de qualitatif. Néanmoins, dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire. Dans

ce contexte, l'HAZOP doit donc être complété par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée. Dans une première approche, une démarche semi-quantitative pourra être retenue. Cette adaptation semi-quantitative de l'HAZOP est d'ailleurs mentionnée dans la norme CEI(Commission Electrotechnique Internationale) : 61882 « Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) - Guide d'application ».

### **I.3.6. What if**

La méthode dite « What if » est une méthode dérivée de l'HAZOP. Elle suit donc globalement la même procédure et les informations présentées au paragraphe précédent pour l'HAZOP restent donc valables ici. La principale différence concerne la génération des dérives des paramètres de fonctionnement. Ces dérives ne sont plus dans ce cas envisagées en tant que combinaison d'un mot clé et d'un paramètre, mais fondées sur une succession de questions de type de la forme : « QUE (What) se passe-t-il SI (IF) tel paramètre ou tel comportement est différent de celui normalement attendu ? ». Il apparaît ainsi que l'efficacité de la méthode « What if » repose en grande partie sur l'expérience des personnes réunies au sein du groupe de travail. Cette méthode paraît donc moins fastidieuse à mener que l'HAZOP mais est réservée à une équipe expérimentée.

### **I.3.7. L'arbre d'évènement**

L'analyse par arbre des défaillances, comme nous l'avons vu précédemment, vise à déterminer, dans une démarche déductive, les causes d'un événement indésirable ou redouté retenu a priori. À l'inverse, l'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent. À partir d'un événement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention... Ces dispositifs peuvent concerner aussi bien des moyens automatiques qu'humains (intervention des opérateurs) ou organisationnels (application de procédures).

### I.3.8. Nœud de papillon

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillance et un arbres d'événements. Il peut être représenté sous la forme suivante.

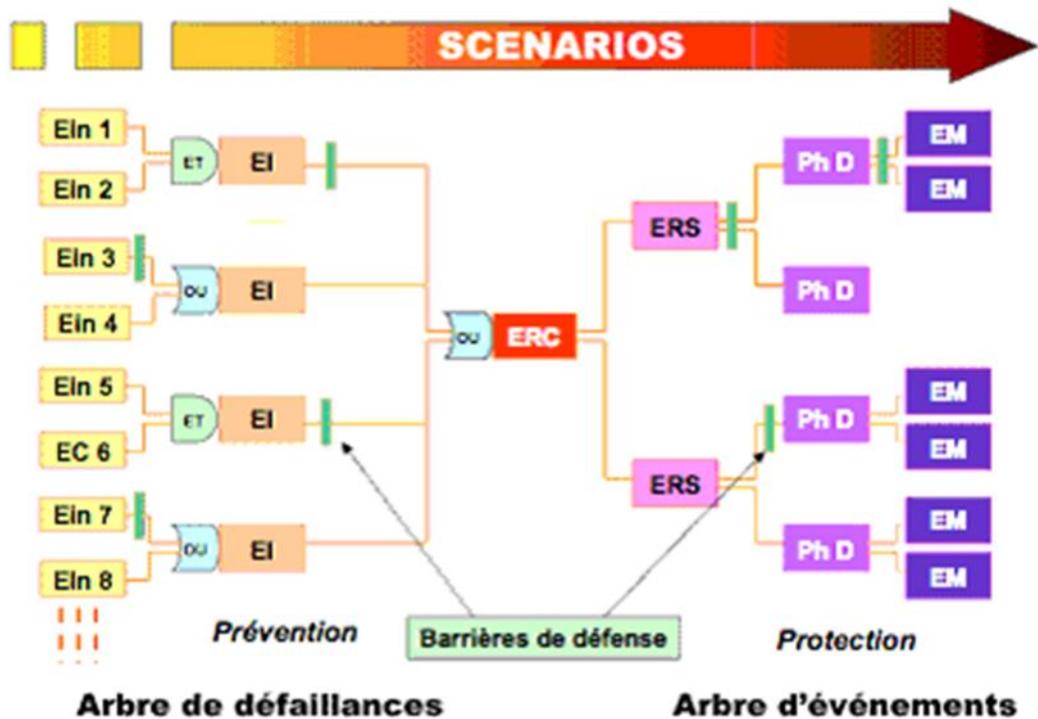


Fig.2 Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon [6].

**ERC:** Evènement Redouté Centrale

**EIn:** Evènement Indésirable.

**EC:** Evènement Courant.

**EI:** Evènement Initiateur.

**ERS:** Evènement Redouté Secondaire.

**PH D:** Phénomène Dangereuse.

**EM:** Effet Majeur.

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

à identifier les causes de cette perte de confinement. La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet événement redouté central tout comme le ferait un arbre d'évènements. Sur ce schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident. De fait, dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine ( évènements indésirable ou courant ) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des cibles (effets majeurs ) désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central. Cet outil permet d'apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident.

### **1.3.9. L'arbre des défaillances**

L'arbre de défaillances est une méthode déductive, qui fournit une démarche systématique pour identifier les causes d'un événement unique intitulé événement redouté. Le point de départ de la construction de l'arbre est l'événement redouté lui-même (également appelé événement sommet). Il est essentiel qu'il soit unique et bien identifié. À partir de là, le principe est de définir des niveaux successifs d'événements tels que chacun est une conséquence d'un ou plusieurs événements du niveau inférieur. La démarche est la suivante : pour chaque événement d'un niveau donné, le but est d'identifier l'ensemble des événements immédiats nécessaires et suffisants à sa réalisation. Des opérateurs logiques (ou portes) permettent de définir précisément les liens entre les événements des différents niveaux.

Le processus déductif est poursuivi niveau par niveau jusqu'à ce que les spécialistes concernés ne jugent pas nécessaire de décomposer des événements en combinaisons d'événements de niveau inférieur, notamment parce qu'ils disposent d'une valeur de la probabilité d'occurrence de l'événement analysé. Ces événements non décomposés de l'arbre sont appelés événements élémentaires (ou événements de base).

Notons que :

1. Il est nécessaire que les événements élémentaires soient indépendants entre eux.
2. Leur probabilité d'occurrence doit pouvoir être quantifiée (condition nécessaire seulement dans le cas où l'arbre est destiné in fine à une analyse quantitative).
3. Contrairement à l'approche inductive de l'[AMDE](#)(C) (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) qui ne cible pas les conséquences des défaillances

élémentaires, l'approche déductive de l'arbre de défaillances permet de se focaliser exclusivement sur les défaillances contribuant à l'événement redouté.

### **I.3.10. Arbre des causes :**

Un arbre des causes (arbre des faits) est un schéma se présentant sous la forme d'une arborescence, utilisé dans le domaine des risques professionnels pour mieux identifier a posteriori tous les faits nécessaires ayant abouti à un événement indésirable (accident du travail, mais aussi défaillance d'un processus, etc.). Il s'agit donc surtout d'établir un diagramme de causes et effets.

Il existe deux méthodologies en matière d'analyse des risques :

- une démarche a priori (démarche à visée ergonomique) : l'incident ou l'accident n'a pas encore eu lieu : on évalue le rapport entre le travail prescrit et le travail réel afin d'en tirer les conséquences pour améliorer la situation de travail, ou encore dans le cas d'un processus : l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC),
- une démarche a posteriori (arbre des causes, analyse des causes profondes, etc.) : l'incident ou l'accident ayant eu lieu, on en recherche les liens de causalité explicites et/ou implicites).

Ces deux démarches sont complémentaires.

## **I.4. Conclusion**

Nous avons consacré ce chapitre à la présentation de notre cadre de travail. Après avoir présenté la démarche d'analyse des risques, il était question de mettre l'accent sur les méthodes générales d'analyse et d'évaluation des risques.

## **Chapitre II. L'arbre de défaillance.**

## **II.1. introduction**

Afin de prévenir et/ou limiter les conséquences en cas de survenue d'un événement redouté, les industriels mettent en place des barrières de sécurité (ou mesure de maîtrise des risques). Selon le fonctionnement ou non de ces barrières, les conséquences observées seront d'occurrence et d'intensité différente. Afin de mener une analyse exhaustive, il est nécessaire de disposer d'une méthode qui permette de définir précisément l'ensemble des conséquences observables. Pour ce faire, la méthode de l'arbre de défaillance est reconnue comme une méthode efficace.

Nous avons consacré ce chapitre à une présentation détaillée sur la méthode d'arbre de défaillance.

Nous commençons par donner l'historique, principe et définition de l'événement redouté. Ensuite, nous allons aborder l'exploitation, l'élaboration de l'ADD. Enfin, nous présenterons tout ce qui est lié aux facteurs d'importance.

## **II.2.Historique et domaine d'application**

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles. Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique... Elle est aussi utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident [6].

## II.3. Principe[6]

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

1-Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.

2-Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt,

3-Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple,

4-Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- Ces évènements sont indépendants,
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible,
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être évaluée.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement indésirable retenu. Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

Les conventions de présentation sont proposées dans la norme CEI 61025 :1990 « Analyse par Arbre de Panne (APP) ». A l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'événement final à partir des probabilités des événements de base identifiés. L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'événement redouté étudié,
- Elaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

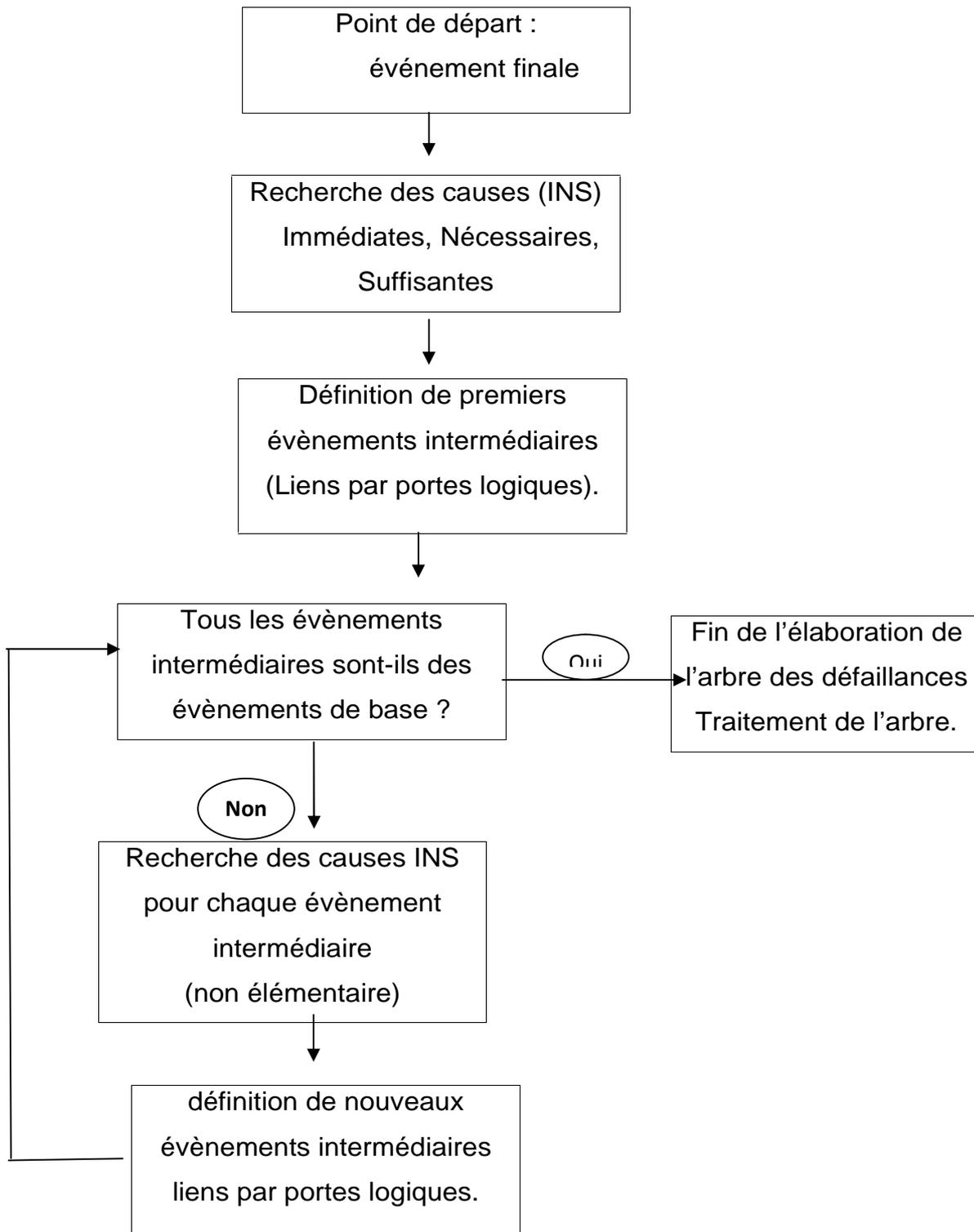
### **II.3.1 Définition de l'évènement redouté**

La définition de l'événement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances. Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des événements jugés particulièrement critiques. En ce sens, l'utilisation préalable de méthodes inductives (APR, AMDEC, HAZOP) permet d'identifier les événements qui méritent d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances [6]. De manière classique, les événements considérés peuvent concerner :

- le rejet à l'atmosphère de produits toxiques ou inflammables,
- le risque d'incendie,
- le risque d'explosion..

### **II .3.2.Elaboration de l'arbre**

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'événements pouvant conduire à l'événement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des événements élémentaires [1]. L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant :



**Fig.1** Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances [6].

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre. Il s'agit probablement de l'étape la plus

délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre. Afin de sélectionner les événements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes. Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné. Enfin, il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir :

Vérifier que le système est cohérent [1], c'est-à-dire que :

- La défaillance de tous ses composants entraîne la défaillance du système,
- Le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système.
- Lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système.
- Lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système. Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permet ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.
- S'assurer que tous les événements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives.
- Éviter de connecter directement deux portes logiques.
- Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'événement considéré.

## II.3.3 Exploitation de l'arbre[6]

### II.3.3.1. Coupes minimales – Réduction de l'arbre

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'évènements pouvant conduire à l'évènement indésirable ou redouté. On parle parfois également de « chemin critique ». Dans l'exemple suivant, l'occurrence simultanée des évènements A, B et C conduit effectivement à l'évènement final. Il ne s'agit cependant pas d'une coupe minimale puisque la combinaison A.B seule peut être à l'origine de l'évènement final. La recherche des coupes minimales est effectuée à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

- À chaque évènement de base correspond une variable booléenne,
- L'évènement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux évènements d'entrée,
- L'évènement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux évènements d'entrée,

Quelques-unes des principales règles de l'algèbre de BOOLE sont résumées dans le tableau suivant :

Propriétés	Produit	Somme
Commutativité	$A.B=B.A$	$A+B=B+A$
Idempotence	$A.A=A$	$A+A=A$
Absorption	$A.(A+B)=A$	$A+A.B=A$
Associativité	$A.(B.C)=(A.B).C$	$A+(B+C)=(A+B)+C$
Distributivité	$A.(B+C)=A.B+A.C$	$A+B.C=(A+B).(A+C)$

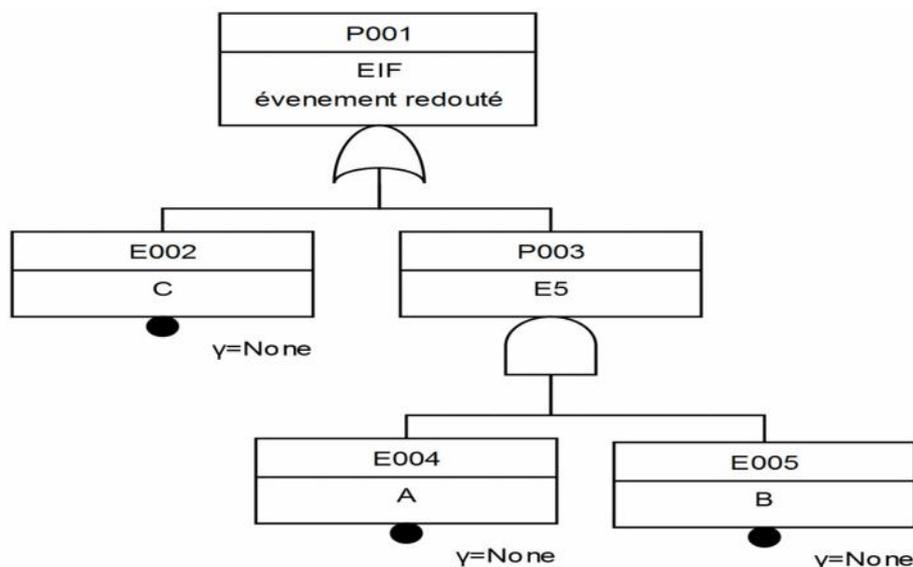
Tableau 2 : Quelques unes des principales règles de l'algèbre de Boole [6].

Ainsi, dans l'exemple précédent, la recherche des coupes minimales peut s'effectuer comme suit :  $ER = E1 \cdot E2$   $E1 = A + E3$  avec  $E3 = B + C$   $E2 = C + E4$  avec  $E4 = A \cdot B$  Au total, nous avons donc :  $ER = (A+B+C) \cdot (C+A \cdot B) = A \cdot C + A \cdot B + B \cdot C + A \cdot B + C + C \cdot A \cdot B$  Or,  $A \cdot C + C = C$  et  $A \cdot B + A \cdot B \cdot C = A \cdot B$  (par absorption)  $ER = C + A \cdot B + B \cdot C + A \cdot B$  De plus,  $A \cdot B + A \cdot B = A \cdot B$  (Idempotence) et  $C + B \cdot C = C$  (Absorption) D'où  $ER = C + A \cdot B$  Ainsi, l'évènement C seul ou la combinaison des évènements A.B conduisent à l'évènement redouté. Il n'existe pas de combinaison plus petite conduisant à cet évènement. L'arbre présenté en exemple admet donc deux coupes minimales : C ainsi que A.B. L'ordre d'une coupe est alors défini comme le nombre d'évènements combinés qui figurent dans cette coupe.

Finalement, cet arbre comporte :

- Une coupe minimale d'ordre 1 : C,
- Une coupe minimale d'ordre 2 : A.B.

L'arbre représentant ces coupes minimales est appelé « arbre réduit ». Pour l'exemple considéré dans la Figure 3, l'arbre réduit est le suivant.



**Fig.2**Réduction de l'arbre des défaillances pris en exemple (VILLEMEUR, 1988) [6]

La recherche des coupes minimales peut s'avérer fastidieuse pour des arbres de taille importante. Certains outils informatiques permettent heureusement d'automatiser cette

démarche. Ces outils démontrent toute leur utilité pour la réduction d'arbres complexes. Leur utilisation ne doit cependant pas faire oublier que la définition précise de l'événement final constitue la première étape en vue de limiter la complexité de l'arbre des défaillances.

### **II.3.3.2. Exploitation qualitative de l'arbre des défaillances**

L'exploitation qualitative de l'arbre vise à examiner dans quelle proportion une défaillance correspondant à un événement de base peut se propager dans l'enchaînement des causes jusqu'à l'évènement final. Pour cela, tous les évènements de base sont supposés équiprobables et on étudie le cheminement à travers les portes logiques d'évènement ou de combinaisons d'évènements jusqu'à l'évènement final. De manière intuitive, une défaillance se propageant à travers le système en ne rencontrant que des portes « OU » est susceptible de conduire très rapidement à l'évènement final. A l'inverse, un cheminement s'opérant exclusivement à travers des portes « ET » indique que l'occurrence de l'évènement final à partir de l'évènement ou la combinaison d'évènements de base est moins probable et démontre ainsi une meilleure prévention de l'évènement final. La définition des coupes minimales permet d'accéder directement aux évènements et combinaisons d'évènements les plus critiques pour le système considéré. Ainsi, plus l'ordre d'une coupe minimale est petit, plus l'occurrence de l'évènement final suivant ce chemin critique peut paraître probable. Un moyen de prévenir les évènements indésirables ou redoutés vise à modifier l'arbre des défaillances en vue d'obtenir des coupes minimales d'ordre le plus élevé possible, par l'introduction de portes « ET » par exemple. Cette approche qualitative repose néanmoins sur l'hypothèse relativement forte que les évènements de base sont équiprobables. Il peut cependant arriver qu'une coupe minimale d'ordre 1 corresponde à un événement extrêmement peu probable alors qu'une coupe minimale d'ordre supérieur peut correspondre à des combinaisons d'évènements très probables. De ce fait, il est important de compléter l'analyse pour une analyse quantitative.

### II.3.3.3. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillance :

L'exploitation quantitative de l'arbre des défaillances vise à estimer, à partir des probabilités d'occurrence des événements de base, la probabilité d'occurrence de l'événement final ainsi que des événements intermédiaires. Il ne s'agit pas d'une démarche qui permet d'accéder avec exactitude à la probabilité de chaque événement. Elle doit être mise en œuvre dans l'optique de hiérarchiser les différentes causes possibles et de concentrer les efforts en matière de prévention sur les causes les plus vraisemblables. En pratique, il est souvent difficile d'obtenir des valeurs précises de probabilités des événements de base. En vue de les estimer, il est possible de faire appel à :

- Des bases de données,
- Des jugements d'experts,
- Des essais lorsque cela est possible,
- Au retour d'expérience sur l'installation ou des installations analogues.

À partir des probabilités des événements de base, il s'agit de remonter dans

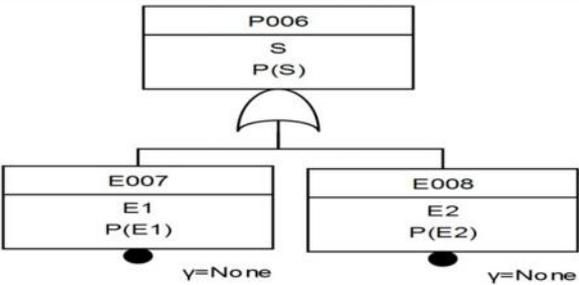
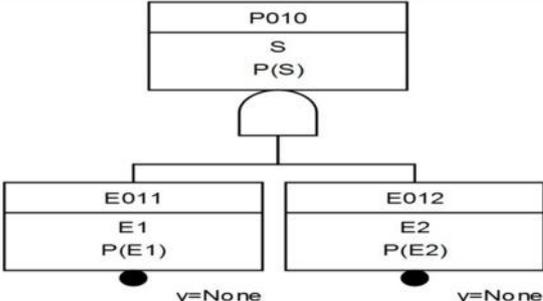
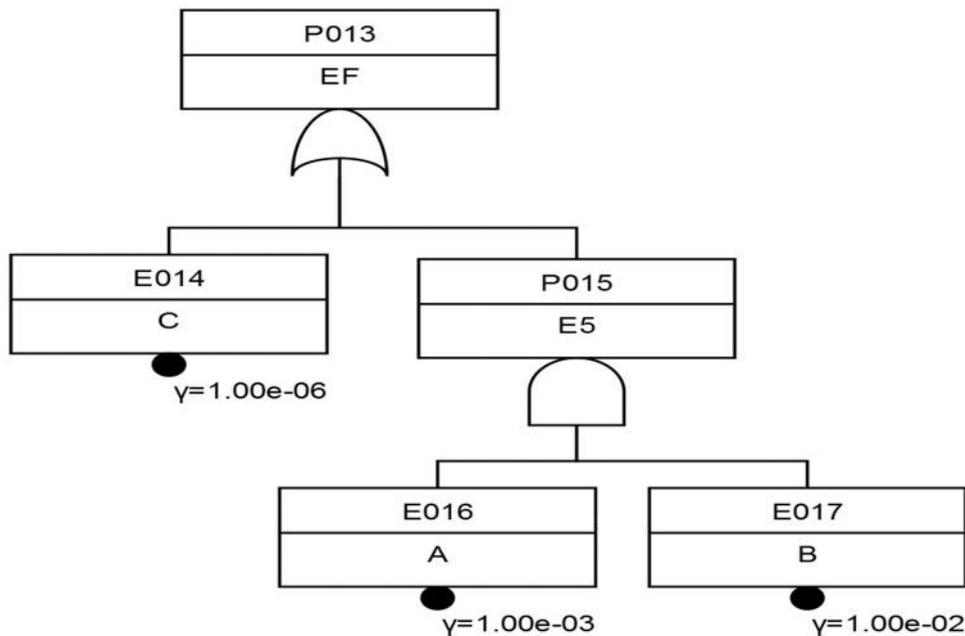
Porte « ou »	Porte « et »
	
<p><math>P(S)=P(E1)+P(E2)-P(E1).P(E2)</math> (théorème de POINCARRE) Lorsque la probabilité des événements de base est faible, il est possible de négliger le double produit <math>P(E1).P(E2)</math> et considérer : <math>P(S)=P(E1)+P(E2)</math></p>	<p><math>P(S)=P(E1).P(E2)</math></p>

Tableau 3 : Les portes logiques [6].

À titre d'exemple, appliquons cette démarche à l'arbre réduit présenté en Figure3, en supposant les probabilités des évènements de base connues :

- $P(A) = 1e(-3)$ .
- $P(B) = 1e(-2)$ .
- $P(C) = 1e(-6)$ .



**Fig.3** Déterminations de la probabilité de l'événement final [1].

Cette exploitation quantitative de l'arbre, au même titre que son exploitation qualitative, ne peut être effectuée qu'à partir d'un arbre réduit. Par ailleurs, notons, que pour des éléments de base de faible probabilité, la probabilité de l'événement final est sensiblement égale à la somme des probabilités affectées aux coupes minimales. Dans l'exemple précédent, nous avons donc :

$P(EF) = P(C + A.B) = P(C) + P(A).P(B) - P(A).P(B).P(C)$  (théorème de POINCARRE)  
d'où  $P(EF) = P(C) + P(A).P(B)$  Les logiciels informatiques développés depuis une dizaine d'années permettent de déterminer automatiquement les probabilités tout au long de l'arbre. L'examen des probabilités des évènements intermédiaires conduisant à l'événement final permet de hiérarchiser les priorités de modifications du système en identifiant les causes les plus probables d'un évènement indésirable ou final. La

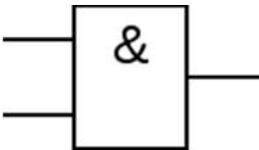
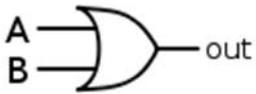
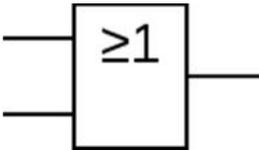
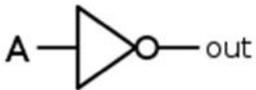
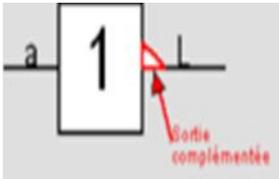
réduction de la probabilité de cet événement final peut alors être envisagée de plusieurs manières :

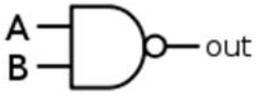
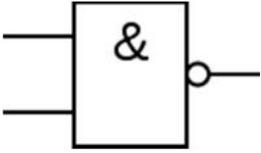
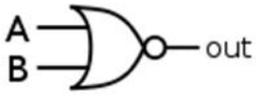
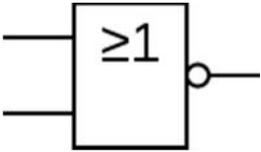
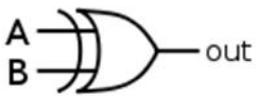
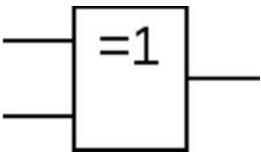
- En supprimant ou réduisant la probabilité d'occurrence des événements de base,
- En améliorant la fiabilité du système par l'ajout de portes « ET » entre l'événement final et les événements de base. Les portes « ET » placées au plus proche de l'événement final permettent de traiter un maximum de coupes minimales et le cas échéant, de traiter certaines causes qui n'auraient pas été envisagées.

#### **II.4.Représentation graphique [7]**

Deux ensembles de symboles sont utilisés pour représenter les fonctions logiques ; les deux sont définis par la norme ANSI/IEEE (American National Standards Institute/Institute of Electrical and ElectronicsEngineers)91-1984 et son supplément 91a-1991. La représentation par « symboles distinctifs », basée sur les schématisations classiques, est utilisée pour les schémas simples et est plus facile à tracer à la main. Elle est parfois qualifiée de « militaire », ce qui reflète ses origines, sinon son usage actuel.

La représentation « rectangulaire » se base sur la norme CEI 60617-12 ; toutes les portes y sont représentées avec des bords rectangulaires et un symbole, ce qui permet la représentation d'un plus grand nombre de types de circuits. Ce système a été repris par d'autres standards comme EN 60617-12:1999 en Europe et BS EN 60617-12:1999 au Royaume-Uni.

Type	Symbole américain	Symbole français	Opération booléenne	<u>Table de vérité</u>																		
ET				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A ET B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée		Sortie	A	B	A ET B	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
Entrée		Sortie																				
A	B	A ET B																				
0	0	0																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	1																				
OU				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A OU B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée		Sortie	A	B	A OU B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
Entrée		Sortie																				
A	B	A OU B																				
0	0	0																				
0	1	1																				
1	0	1																				
1	1	1																				
NON				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>NON A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée	Sortie	A	NON A	0	1	1	0										
Entrée	Sortie																					
A	NON A																					
0	1																					
1	0																					

NON-ET (NAND)				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A NAND B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée		Sortie	A	B	A NAND B	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
Entrée		Sortie																				
A	B	A NAND B																				
0	0	1																				
0	1	1																				
1	0	1																				
1	1	0																				
NON-OU (NOR)				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A NOR B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée		Sortie	A	B	A NOR B	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Entrée		Sortie																				
A	B	A NOR B																				
0	0	1																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	0																				
OU exclusif (XOR)				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A XOR B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée		Sortie	A	B	A XOR B	0	0	0	0	1	1	1	0	1			
Entrée		Sortie																				
A	B	A XOR B																				
0	0	0																				
0	1	1																				
1	0	1																				

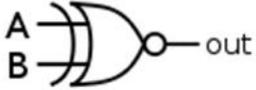
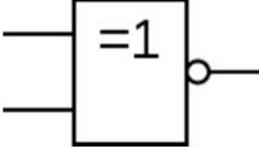
				1	1	0
ET-inclusif ou OU-exclusif complémenté (XNOR) ou Identité ou NON-OU exclusif				<b>Entrée</b>		<b>Sortie</b>
				A	B	A XNOR B
				0	0	1
				0	1	0
				1	0	0
				1	1	1

Tableau 1 : Symboles et tables de vérités de portes logiques [7].

Une porte NON-ET (NAND) peut également être représentée en utilisant le symbole OU avec des bulles (inverseurs) sur les entrées, et une porte NON-OU (NOR) peut être représentée par un symbole ET avec des bulles sur les entrées. Cela reflète les lois d'équivalence de De Morgan ; cela permet de rendre également un diagramme plus lisible, ou de fabriquer un circuit facilement avec des portes préfabriquées, car un circuit qui a des bulles des deux côtés peut être remplacé par un circuit non-inversé en changeant la porte. Si une porte NON-ET est représentée par un OU avec des entrées inversées, ou qu'un NON-OU est représenté par un ET avec des entrées inversées, le remplacement se fait automatiquement dans le schéma (les bulles « s'annulent »). C'est courant dans les diagrammes logiques réels si bien que le lecteur ne doit pas s'habituer à associer les symboles aux portes OU et ET automatiquement, mais doit aussi prendre en compte les inverseurs pour déterminer la bonne fonction représentée. Les entrées inversées sont particulièrement utiles dans le cas de signaux « actifs à l'état bas »[.

Les deux autres portes fréquemment rencontrées sont la fonction OU exclusif et son inverse. Un OU exclusif à deux entrées ne renvoie un 1 que quand les deux entrées sont différentes, et un 0 quand elles sont égales, quelle que soit leur valeur. S'il y a plus de deux entrées, la

porte renvoie 1 si le nombre d'entrées égales à 1 est impair. Dans la pratique, ces portes sont souvent réalisées à partir de combinaisons de portes logiques plus simples.

## **II.5.Facteurs d'importance**

### **II.5.1.Principe**

Les facteurs d'importance sont des indicateurs calculés pour chaque événement de base d'un arbre de défaillance. Ces indicateurs visent à évaluer les contributions relatives des différents composants du système au risque global. Tout au long de cette section, nous supposons que S, l'événement de tête de l'arbre, représente la défaillance du système et que chaque événement de base désigne la défaillance d'un composant [8].

La littérature traite principalement cinq différents facteurs d'importance :

- Facteur d'Importance Marginale (MIF) parfois appelé facteur de Birnbaum ;
- Facteur d'Importance Critique (CIF) ;
- Facteur d'Importance de Diagnostic (DIF) aussi appelé facteur de Fussel-Vesely ;
- Facteur d'Augmentation du Risque (RAW ou RIF) ;
- Facteur de Diminution du Risque (RRW ou RDF).

Soit S l'événement de tête de l'arbre de défaillance et soit e un événement de base. Techniquement parlant, les facteurs d'importance sont définis au moyen de la probabilité  $p(S)$  et des probabilités conditionnelles  $p(S|e)$  et  $p(S|\bar{e})$ .

### **II.5.2.Définition**

#### **II.5.2.1.Facteur d'importance marginale[8]**

Le facteur d'importance marginal, noté  $MIF(S,e)$ , est défini comme suit.

$$MIF(S,e) = \frac{\partial p(S)}{\partial p(e)}$$

Ce facteur d'importance peut être interprété comme la probabilité pour que le système se trouve dans un état de fonctionnement ayant e comme composant critique, sachant que e est en fonctionnement, soit :

$$MIF(S,e) = p(S|e) - p(S|\bar{e})$$

À titre d'exemple, considérons la disponibilité d'un système. Le facteur d'importance marginal du composant  $e$  est le taux avec lequel la disponibilité du système augmente quand la disponibilité du composant  $e$  augmente.

### **II.5.2.2.Facteur d'importance critique[8]**

Ce facteur est la probabilité pour qu'un événement de base  $e$  soit défaillant et critique sachant que le système global est défaillant. Autrement dit, il s'agit de la probabilité que le composant  $e$  ait provoqué la défaillance du système sachant que le système est défaillant.

Il est défini comme suit.

$$CIF(S, e) = \frac{p(e)}{p(S)} MIF(S, e)$$

Ce facteur peut aussi être calculé pour une coupe minimale, il s'agit alors de la probabilité que la coupe minimale ait provoqué la défaillance du système sachant que le système est défaillant. Ce facteur indique ainsi le poids respectif de chaque coupe minimale dans leur contribution à la défaillance du système.

Ce facteur nous renseigne sur les augmentations / diminutions de risque associées à l'augmentation / diminution de la défiabilité d'un événement de base associé à un système. Dans la pratique, il trouvera son intérêt dans la maintenance optimisée par la fiabilité (RCM en anglais), où l'on intervient sur de l'existant et en faible proportion. Il indiquera sur quels composants il est intéressant de faire de la maintenance préventive, et ceux sur lesquels la maintenance corrective suffit.

### **II.5.2.3.Facteur d'importance de diagnostic**

Le facteur d'importance de diagnostic, notée  $DIF(S,e)$ , est définie comme suit.

$$DIF(S, e) = p(e|S) = \frac{p(e) p(S|e)}{p(S)}$$

Le  $DIF(S,e)$  est la probabilité pour que le composant  $e$  soit en panne sachant que le système est en panne. Ce facteur tient son nom de son utilité dans le diagnostic des causes de défaillance d'un système.

Enfin signalons que ce facteur représente la part des coupes dans lesquelles apparaît au moins une fois l'événement de base  $e$ , il indique alors le gain en disponibilité que l'on peut attendre sur le système global, résultant d'une fiabilisation totale de  $e$  [8].

Cet indicateur est notamment précieux dans la phase de conception d'un système, là où des modifications fonctionnelles et/ou de design importantes peuvent intervenir, et faire varier le risque associé à un système dans d'importantes proportions.

#### **II.5.2.4.Facteur d'Augmentation du Risque**

Le facteur d'augmentation du risque, désigné par  $RAW(S,e)$ , est défini comme suit.

$$RAW(S,e) = \frac{p(S|e)}{P(S)}$$

Il montre dans quelles proportions augmente le risque associé à un système quand la défiabilité de l'événement de base  $e$  est portée à 1.

Ce facteur apporte son intérêt en permettant d'identifier les points communs, qui, en cas de défaillance rendent indisponible l'ensemble des barrières. Il permet ainsi d'extraire des événements de base à probabilité très faible mais dont la perte se traduit par une forte augmentation du risque [8].

Il est un indicateur de l'importance de maintenir le niveau actuel de la fiabilité du composant.

#### **II.5.2.5.Facteur de Diminution du Risque**

Le facteur de diminution du risque, noté  $RRW(S,e)$ , est défini comme suit.

$$RRW(S,e) = \frac{p(S)}{p(S|\bar{e})}$$

Il représente la diminution maximale du risque, il peut être approché en augmentant la fiabilité du composant. Par conséquent, ce facteur peut être utilisé pour sélectionner des composants qui sont les meilleurs candidats pour les efforts visant à améliorer la fiabilité du système [8].

## **II.6.CONCLUSION**

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire, enfin, à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres. Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des évènements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels. L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques. Ces outils permettent d'une part d'identifier les évènements les plus graves qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre des défaillances et d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre. Depuis une dizaine d'années, des logiciels informatiques sont commercialisés afin de rendre plus aisée l'application de l'arbre des défaillances. Ces outils se montrent très utiles pour la recherche des coupes minimales, la détermination des probabilités ainsi que pour la présentation graphique des résultats sous forme arborescente.

Partie pratique

**Chapitre I. Etude de cas (la raffinerie)**

## **I.1. Introduction**

Dans notre projet, nous nous sommes intéressés à une unité prototype l'unité 3100, du département P3 (Production 3) de la raffinerie d'Arzew. Cette unité est spécialisée dans la fabrication des huiles finies.

Ses principaux clients sont : Naftec elle-même, Naftal et le secteur privé.

Alors, dans ce chapitre nous présentons la raffinerie d'Arzew et les risques que nous trouvons au sein de la raffinerie, Ensuite nous parlons de l'unité 3100 et de système de maintenance G. Pour l'objectif d'analyser la sûreté de fonctionnement de l'unité 3100.

## **I.2. présentation de la raffinerie d'Arzew**

### **I.2.1. Présentation et petit historique de la raffinerie d'Arzew**

Le géant pétrolier Algérien SONATRACH possède quatre raffineries sur le territoire national: Skikda, Alger, Arzew et Haoud-El-Hamra. Ces raffineries sont alimentées par un pipeline direct de la zone de stockage de Haoud-El-Hamra. Nous nous intéressons spécialement à la raffinerie d'Arzew RA1Z dans la wilaya d'Oran.

La capacité de production de cette raffinerie est de 7,2 million de tonne par an, elle alimente l'ouest du pays nord et sud avec un surplus exporté vers l'étranger via le terminal d'Arzew. Malgré ces chiffres, un premier problème provient du fait que la raffinerie n'est exploitée qu'à 60% de sa capacité (Dossier spécial Algérie, 2002). La raffinerie vise actuellement à augmenter sa cadence de production et améliorer ses performances [9].

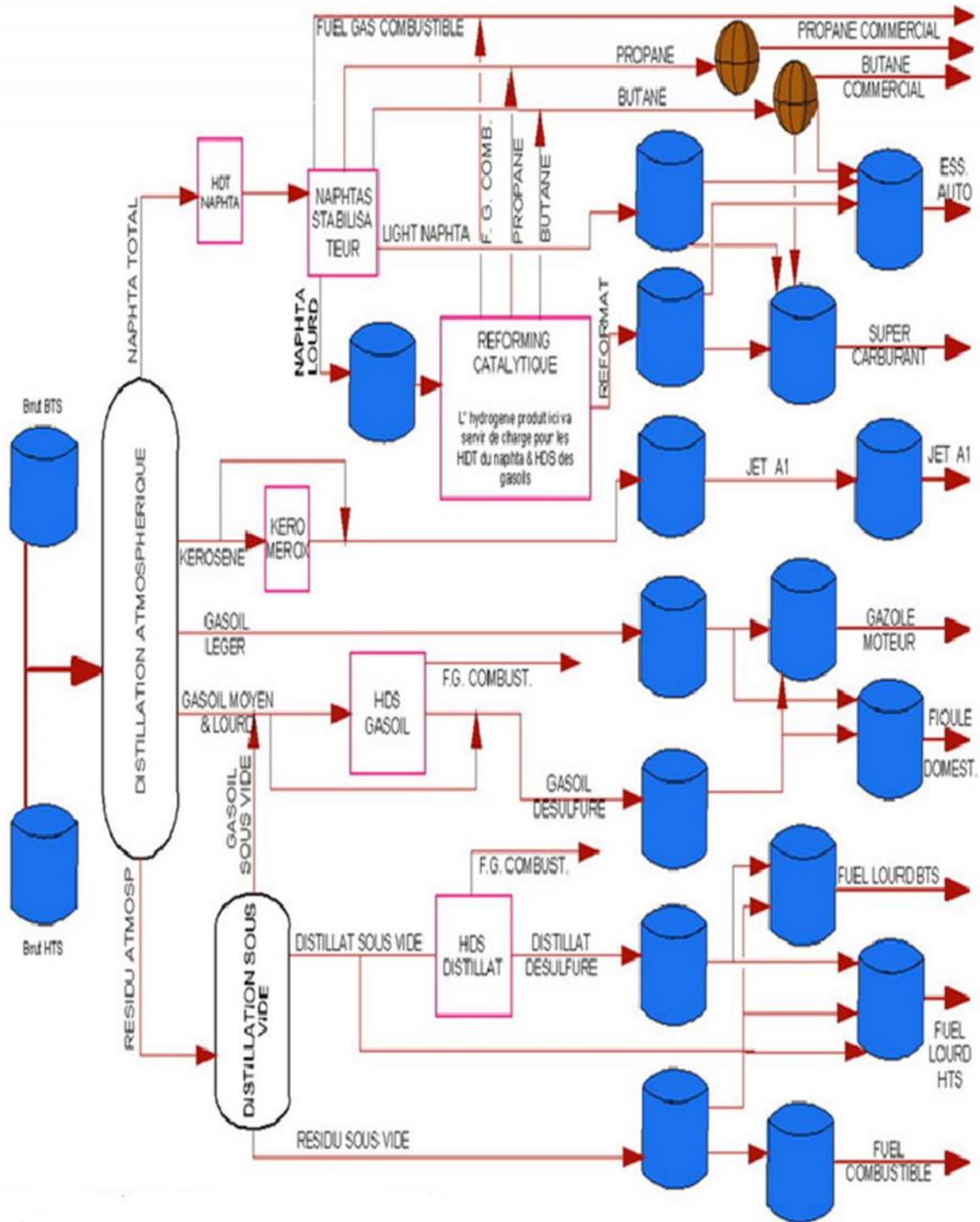


Figure.1.Schéma simple de la raffinerie d'Arzew[10]

## **I.2.2.Présentation générale des unités de la raffinerie**

L'implantation de l'usine a été réalisée sur un site d'une superficie de 150 ha à 40 Km de la ville d'Oran. La raffinerie a été conçue pour :

- Valoriser le pétrole brut de Hassi-Messaoud par sontraitement local.
- Satisfaire les besoins de consommation en carburants pour la région Ouest et en lubrifiants et bitumes pour le marché national.

Le démarrage des unités a été lancé, par la mise en exploitation de l'unité des utilités, à partir du mois de juillet 1972. L'ensemble des unités de la Raffinerie est entré en service en mars 1973. Depuis, plusieurs travaux d'extension ont été menés [9].

La raffinerie est constituée de plusieurs unités complémentaires et successives qui déterminent le cheminement du flux produit : [9]

### **I.2.2.1 Les utilités**

Deux unités d'utilités (zone 3 et zone 19) produisent et assurent la distribution, pour les besoins de fonctionnement des différentes installations de : Eau distillée, Electricité, Air service et instrument, Eau de refroidissement traitée, Fuel gaz et Vapeur. Ces zones ne reçoivent pas de matière première, elles ne produisent que les besoins des autres zones.

### **I.2.2.2. Les carburants**

L'Unité de distillation atmosphérique (U.II) est l'unité principale du complexe qui traite le pétrole brut algérien. Les produits obtenus au niveau de cette unité sont: Gaz de pétrole liquéfié, Naphta lourd, Naphta léger, Kérosène, Gasoil et le brut réduit, qui constitue la charge des unités de distillation sous-vide pour la production des huiles de base.

L'Unité de reforming catalytique (U.12): Le Naphta lourd de l'unité de distillation atmosphérique est traité dans cette unité dont le but est de produire une base à indice d'octane élevé (réformat), des GPL et un gaz riche en hydrogène.

L'Unité de traitement de gaz (U.13): Les gaz de pétrole liquéfiés obtenus dans les unités de distillation atmosphérique et de reforming catalytique sont traités dans cette unité et séparés en produits suivants: Propane, Butane.

### **I.2.2.3. Les bitumes**

L'Unité de flash sous-vide (U.14) Le brut réduit importé et fractionné en gas-oil sous vide et en produit visqueux obtenu en fond de colonne lequel est traité dans la section de soufflage à l'air pour obtenir du bitume pur (direct) communément appelé bitume routier. Les asphaltes provenant des unités de dé-asphaltage au propane sont mélangés au bitume direct pour obtenir les bitumes routiers. L'expédition des bitumes pursse fait par camion ou par bateau. Une ligne chauffée électriquement relie la raffinerie au portà cet effet.

L'Unité de bitume oxydé (U.15) Du bitume direct mélangé avec du gazole sous vide constitue la charge de cette unité ou blown stock. Le bitume oxydé est obtenu par oxydation poussée avec de l'air. Ce bitume est conditionné dans des sacs plastiques de 25 Kg et dans des fûts de 200 Litres.

### **I.2.2.4. Les lubrifiants**

La raffinerie d'Arzew dispose de :

- Deux chaînes de production d'huile de base de capacités annuelles respectives de 48 000 TM et 120 000 TM (Tonnes Millions).
- Deux unités de fabrication, de mélange et de conditionnement des huiles finies. Ce sont ces unités qui vont nous intéresser par la suite.
- Deux unités de production et de conditionnement des graisses.
- Une unité de traitement et de deux unités de moulage de la paraffine.

Les deux chaînes de production d'huiles de base disposent respectivement des unités suivantes: Distillation sous vide, Dé-asphaltage au propane, Extraction des aromatiques au furfural, Déparaffinage à la méthyl-éthylcétone et au toluène et Hydrofinishing des huiles. La 2ème chaîne dispose d'une unité d'hydrotraitement de la paraffine.

L'Unités de distillation sous vide (U.21 et 100) Le brut réduit de l'unité de distillation atmosphérique est fractionné dans les unités de distillation sous vide pour obtenir les produits intermédiaires suivants: Du gasoil sous vide, Les distillats: spindle, mivisqueuse ou SAE 10, visqueuse ou SAE 30 et un résidu court.

L'Unités de déasphaltage au propane (U.22 et 220) Le résidu court de l'unité de distillation sous vide y est traité avec un solvant sélectif, pour séparer l'huile lourde de l'asphalte. Le

125 produit obtenu s'appelle l'huile dé-asphaltée (DAO). L'asphalte est envoyé vers l'unité de bitume routier.

L'Unités d'extraction au furfural (U.23 et 300) Le furfural est utilisé comme solvant sélectif pour l'élimination des aromatiques et des naphthènes et permet d'améliorer l'indice de viscosité des trois distillats obtenus dans l'unité de distillation sous vide et de l'huile dé-asphaltée obtenue dans l'unité dé-asphaltage au propane. Quatre raffinats sont ainsi obtenus: Spindle, Mi-visqueuse ou SAE 10, Visqueuse ou SAE 30 et le Bright stock.

L'Unités de déparaffinage des huiles et de déshuilage des paraffines (U.24 et 400) Le mélange méthyl-éthyl-cétone (MEK) et toluène est utilisé comme solvant sélectif pour:

1- Extraire la paraffine ayant le point d'écoulement élevé des quatre raffinats et obtenir quatre huiles déparaffinées : Spindle, Mi-visqueuse ou SAE10, Visqueuse ou SAE 30 et le Bright stock.

2- Extraire l'huile contenue dans la paraffine pour améliorer la consistance et le point de fusion de cette dernière.

L'Unités de traitement des huiles à l'hydrogène (U.25 et 500) Les quatre huiles déparaffinées y sont traitées alternativement avec de l'hydrogène dans un réacteur contenant un catalyseur à base de fer, de cobalt et de molybdène. Pour les quatre huiles de base finies obtenues, ce traitement améliore: La couleur, la stabilité thermique et la résistance à l'oxydation.

L'Unités de traitement de la paraffine (U.53 et 600) La raffinerie dispose de deux unités de traitement de la paraffine. La première qui utilise le "procédé" de la percolation par la bauxite est abandonnée pour des raisons d'environnement. La seconde utilise le traitement à l'hydrogène à travers un catalyseur. La stabilité et la couleur de la paraffine y sont améliorées.

L'Unités de fabrication et de remplissage des huiles finies (U51 et U3100) Les quatre huiles de base obtenues après l'unité de traitement à l'hydrogène sont mélangées à des additifs selon une formulation pour chaque qualité d'huile moteur et industrielle à fabriquer: 14 Huiles moteur, 39 Huiles industrielles. Le conditionnement est fait en fûts de 180 Kgs pour les 2 types, en bidons de 2L et 5L pour les huiles moteur. Par la suite, c'est cette unité qui nous intéresse.

L'Unité d'emballage divisionnaire (U.3900) Cette unité permet de fabriquer des bidons de 2L et 5L, destinés au conditionnement des huiles moteur, à partir du polyéthylène haute densité

(PEHD). Cette unité fabrique également des boîtes de 1 kg pour le conditionnement des graisses. Les opérations de remplissage, de capsulage et de fardage sont complètement automatisées.

L'Unités de moulage de la paraffine (U54 et 3300) La raffinerie dispose de deux unités de moulage de la paraffine: Pour la première, le refroidissement est assuré avec de l'eau. Pour la seconde, un système de réfrigération à l'ammoniac est utilisé. La paraffine, à l'état liquide après son passage dans l'unité de traitement à l'hydrogène, est refroidie et moulée sous forme de pains de 5 Kgs.

L'Unités de production et de conditionnement des graisses (U52 et 3200).Cinq qualités de graisses sont produites, selon une formulation, en mélangeant les huiles de base avec des additifs et des produits chimiques. Deux unités de production de graisse, existent: La première est une unité de fabrication par batch discontinu. La seconde est une unité de fabrication en continu suivant le "procédé texaco". Le conditionnement se fait dans des fûts de 180 Kgs, des sceaux de 16 Kgs et des boîtes de 1 Kg.

L'unité 3100 de fabrication des huiles finies est l'unité qui a attiré notre attention pour la réalisation de notre projet, cette unité est une jonction entre une production en continu qui est le traitement des huiles de base pour la fabrication des huiles finies. Le conditionnement et l'emballage est une production qui est faite en discontinu. L'unité 3100 doit pouvoir coordonner ces deux types de production, en gérant leurs différentes contraintes internes telle que les conditions fonctionnelles : qualité de l'huile dans les bacs, capacité des bacs... et des contraintes externes, principalement la demande des clients. Le contrôle de production dans cette unité implique la satisfaction simultanée de ces contraintes ce qui rend le problème difficile, sans oublier la soumission de l'unité à des perturbations liés aux pannes et aux arrêts de maintenance.

### I.3. Les principaux risques au niveau de la raffinerie d'Arzew

**Le danger :** Le référentiel OHSAS (Occupational Health Safety Assessment Series) 18001 [OHSAS, 1999] définit un danger comme suit : une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments.

**Le risque :** « la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un dommage et la gravité de ce dernier » [ISO, 1999] (International Standard Organization). Le terme combinaison est généralement matérialisé par une opération de multiplication, ce qui nous permet la formulation suivante : Risque (R) = Probabilité (P) × Gravité (G).

Le pétrole brut doit subir un raffinage avec une succession de différentes opérations alliant la chaleur, la pression et des réactions chimiques, pour obtenir des carburants, des lubrifiants, du bitume, des solvants organiques et tous les produits de la pétrochimie, notamment pour la fabrication des matières plastiques, des textiles et caoutchoucs synthétiques [11]...

La raffinerie est l'une des vastes usines à hauts risques car on y traite et on y stocke de grosses quantités de produits liquides et gazeux inflammables, explosifs, toxiques, à des températures élevées [11].

Le raffinage de pétrole est une activité industrielle qui comporte plusieurs phases [12]

- Le raffinage du pétrole brut chauffé dans des tours ou colonnes de distillation, par le fractionnement du pétrole brut en vue de le séparer en différents groupes d'hydrocarbures plus légers possédant différents intervalles d'ébullition.

- La plupart de ces produits de distillation sont transformés ensuite en produits aux utilisations variées, en modifiant leurs structures physiques et moléculaires par craquage thermique ou catalytique qui casse et combine les molécules, par reformage pour former des molécules plus grandes par alkylation à l'acide sulfurique ou fluorhydrique, par polymérisation et par d'autres procédés de conversion (isomérisation, reformage catalytique)

- Ces opérations nécessitent d'importantes installations de production et d'utilisation d'énergie (chaleur, électricité ...), de refroidissement, de traitement des gaz résiduels et eaux usées, d'extraction et de récupération de produits divers (soufre ...), un vaste réseau de canalisations en taille et en étendue, d'énormes réservoirs de stockage, de cuves, citernes ..

-Les travaux de raffinerie utilisent des fours, réchauffeurs et échangeurs qui peuvent exposer à de fortes chaleurs et produisent ou emploient de très nombreux gaz et produits chimiques caustiques et/ou toxiques dont certains sont cancérogènes, avec des risques chimiques considérables.

Les risques professionnels présentés par la raffinerie d'Arzew [11 : sont à la fois physiques et chimiques, du fait en particulier de fuites et déversements dangereux, de projections lors de l'éclatement de tuyauteries ou de cuves sous pression ou lors des travaux d'entretien et du démontage des canalisations et des vannes :

- le risque pour les gaz et les liquides volatils d'asphyxie et d'incendie ou d'explosion, car la plupart des hydrocarbures sont inflammables.

- la toxicité (par inhalation, ingestion, contact cutané), qui est variable selon les produits, parfois élevée, avec risque cancérogène pour certains d'entre eux, parmi notamment la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont le benzène.

- Les risques liés au travail dans un environnement et des conditions difficiles : bruit (pompes, torches ...), chaleur (brulures ...), odeurs des produits pétroliers, travail de nuit et en extérieur, circulation d'engins, chutes de plain-pied sur sols glissants, inégaux ou encombrés.

De très nombreux postes de travail recèlent aussi des risques physiques importants : la circulation des engins expose à des accidents, les traitements à une forte intensité sonore.

Ces risques chimiques, thermiques, sonores et physiques font de la raffinerie une activité très accidentogène. Par ailleurs, la présence massive de gaz et de vapeurs combustibles expose à un risque grave d'explosion et d'incendie (zone ATEX) atmosphère explosif.

Les opérations sont aujourd'hui pour une large part automatisées et mécanisées : le process des raffineries ainsi fortement modernisé permet de réduire l'exposition des travailleurs et de diminuer considérablement les risques physiques et chimiques. Le process d'une installation en vase clos et en circuit fermé, piloté par un contrôle informatisé centralisé, des automates et de multiples capteurs de température, pression, débit ... réduit les interventions sur les équipements et minore ainsi beaucoup les possibilités de sources d'exposition chimique et physique et les risques d'incendie [11].

Toutefois, des incidents dans l'automatisation des opérations, des fuites de gaz, vapeurs, fumées ou des rejets et déversements liquides intempestifs, des dysfonctionnements des

asservissements... génèrent des dangers et nécessitent également des interventions de maintenance qui restent très dangereuses, avec des risques présents aussi lors des opérations de vidange, de nettoyage, d'assainissement, et de purge.

La raffinerie d'Arzew doit faire l'objet d'une analyse poussée des risques pour permettre la rédaction du Document Unique de Sécurité en appréciant à la fois l'environnement matériel et technique (outils, machines, produits utilisés) et l'efficacité des moyens de protection existants et de leur utilisation selon les postes de travail.

Les analyses de risques sont confiées à des spécialistes de la sécurité au travail (hygiéniste, ingénieur sécurité).

Les rapports d'intervention et de maintenance seront aussi intégrés à la documentation de sécurité au travail de l'entreprise et communiquées au médecin du travail et au CHSCT (comité d'hygiène et de sécurité et de communication de travail).

Les salariés doivent être aussi informés à propos des produits dangereux mis en œuvre et formés aux pratiques professionnelles sécuritaires.

La prévention la plus efficace est la prévention primaire avec la mise en place de technologies qui permettent des actions sur les produits (suppression ou emploi de produits de substitution de moindre impact potentiel sur l'homme) et/ou des actions sur les procédés (emploi de matériels ou de machines supprimant ou limitant au maximum les impacts, par de très faibles rejets atmosphériques, par de bas niveaux sonores...).

La prévention collective implique l'utilisation de systèmes de fabrication isolés et automatisés et de dispositifs mécaniques comme l'extraction de poussières et de vapeurs qui permettent de réduire l'exposition des travailleurs.

Enfin, le port d'équipement de protection individuel (combinaison, gants, chaussures et lunettes de protection, masques...) est obligatoire pour réduire le risque d'exposition non totalement éliminé par les mesures de protection collectives, ainsi que la présence d'installations et de matériel de premier secours.

Les multiples risques chimiques, d'asphyxie et d'incendie ou d'explosion que présentent les raffineries ont conduit à de nombreuses réglementations et normes de transport et d'utilisation des hydrocarbures, aboutissant à un ensemble complexe de mesures préventives.

Malgré tous les instruments de mesure et des solutions d'automatisation performantes qui permettent de contrôler et de gérer des processus de raffinage sophistiqués, il convient d'adopter des méthodes de travail, des mesures de sécurité et l'utilisation de vêtements et d'équipements appropriés de protection individuelle, à toutes les étapes de la production, du contrôle, du stockage et de la maintenance de la raffinerie.

Les moyens de secours et de lutte contre l'incendie doivent être particulièrement adaptés et régulièrement contrôlés, avec des plans d'évacuation et des exercices d'application fréquents.

La surveillance médicale renforcée pour les opérateurs exposés et la formation continue du personnel, par un organisme agréé, sur les dangers des équipements et produits utilisés et sur les moyens de se protéger, sont indispensables [11].

Suite à cette présentation générale des risques au sein de la raffinerie, dans la section suivante nous nous intéresseront particulièrement à l'unité 3100 objet de notre étude.

## **I.4. L'unité 3100 de la raffinerie**

### **I.4.1. Présentation de l'unité 3100**

L'unité 3100 est destinée à la fabrication des huiles fines à partir des huiles de base traitées dans les zones HB3 et HB4 (voir figure 2) et des additifs importés. Cette huile de base est reçue dans des Bacs ou Tank de TK2501 à TK2506, chaque Bac stock un grade (type) d'huile défini : SPO (spondil oïl), SAE10-30, BS. Le changement du type d'huile stocké dans un bac nécessite au préalable un rinçage -une opération de longue durée- ce qui est souvent évitée. Cette unité fabrique deux grandes familles d'huiles : huiles moteurs et huiles industrielles. Pour ce faire, deux méthodes sont utilisées : mélange en continu et mélange en discontinu [9].



Fig. 2 .l'unité des huiles fines au niveau de la raffinerie d'Arzew [10].

La présentation de l'unité 3100 est organisée comme suit : [9]

Tout d'abord nous présentons les produits réalisés et leur processus de fabrication. Ensuite, nous présenterons les données (flux entrants et sortants).

La production dans cette entreprise relève du domaine de la chimie dite « lourde ». L'unité 3100 réalise la fabrication des huiles finies qui sont de deux familles :

Huiles moteurs avec un taux de 81% de la production: ceux sont les huiles utilisés pour la lubrification des moteurs dans le secteur automobile essence, diesel et huiles pour transmission.

Huiles industrielles : hydraulique (tiska), turbines (torba), engrenage (fodda), compresseur (torrada).

Ces huiles sont faites à la base des huiles de base avec leurs différents grades : SPO, SAE10, SAE30 et BS (Bright stock), plus des additifs qui sont principalement des minéraux dédiés à chaque type d'huile à fabriquer. Alors une huile est la conséquence de l'équation suivante :  $X1\% Hb1 + X2\% Hb2 + X3\% \text{ Additif1} \dots\dots (1)$

Où :  $X_i$  est un coefficient et  $Hb_i$  est une huile de base.

Remarque : après avoir étudié les caractéristiques des huiles de base reçues des unités en amont et connaissant les caractéristiques de l'huile finie à fabriquer, les ingénieurs déterminent les types et les quantités des huiles de base à utiliser.

La fabrication d'une huile finie passe par les opérations suivantes (figure. 3) : La réception des huiles de base, la mise en contact des réactifs dans les conditions opératoires appropriées, le mélange puis le transfert vers les bacs de stockage:

Réception des huiles de base : l'unité reçoit tout d'abord l'huile de base avec ses différents grades des unités en amont (HB3 et HB4), selon un programme décadaire de la réception des huiles de base. Le stockage se fait dans des cuves ou bacs appropriés et l'acheminement à l'aide de tuyauteries au moyen de pompes. Ces actions sont caractérisées par les contraintes fortes suivantes :

1. Des contraintes sur les capacités des cuves et des bacs qui reçoivent les produits, car ces bacs ont des capacités limites qui diffèrent d'un type de bac à un autre.

2. Des contraintes sur les types de produits contenus dans les bacs, car les bacs sont spécifiques à un produit et le mélange des produits n'est souvent pas possible.

3. Des contraintes sur la capacité de transfert : le transfert généralement par le biais de pompes puisque le produit à traiter est un liquide, ces pompes ont des capacités ou flux limités.

Mise en contact des réactifs dans les conditions opératoires appropriées, au sein d'un réacteur (agitateur approprié à la nature et à la consistance du milieu). Ce milieu doit pouvoir assurer un maintien manuel ou automatique de conditions déterminées de température, pression, niveau, concentration, etc.

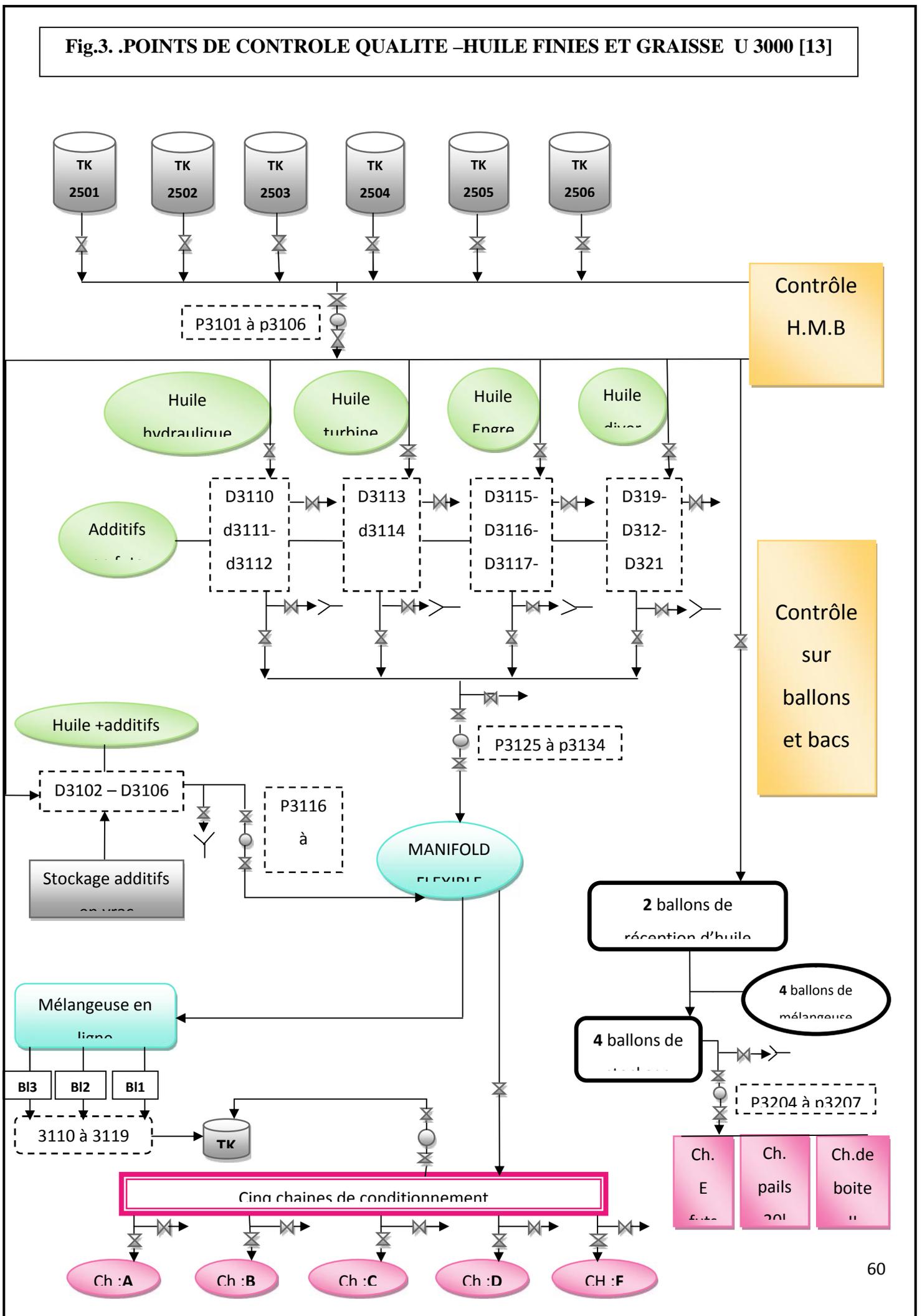
**Le mélange** : La réalisation de l'huile finie en utilisant la formule (1) citée ci-dessus selon deux manières :

**Le mélange en continu** : en utilisant une machine appelée mélangeuse, qui joue le rôle d'un mixeur, les différentes huiles utilisées dans la formule sont envoyées simultanément à la mélangeuse pour qu'elle les mixe.

**Le mélange par Batch** : ou le mélange en discontinu. C'est un ancien mode de fabrication qui est toujours utilisé. Les différentes parcelles d'huiles de base utilisées sont envoyées l'une après l'autre au bac de stockage, et le mélange se fait au niveau de ce bac.

**Transfert vers les bacs de stockages**: Si c'est un mélange en continu, le produit est alors transféré au fur et à mesure que la mélangeuse est en action. Cependant, si le mélange est en discontinu, alors le transfert se fait parcelle par parcelle. Là aussi on est confronté aux contraintes opérationnelles du type : capacité des bacs, le flux de transfert et le contenu précédent des bacs

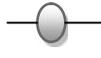
**Fig.3. .POINTS DE CONTROLE QUALITE –HUILE FINIES ET GRAISSE U 3000 [13]**





:Tank ou reservoirs de tanker ou des bacs.

 : Les vannes

 : Les pompes

 : evacuation

P : pompe.

D : ballon de mélange.

Ch : chaine

HMB :Hassi Massoud Brut.

Bl : ballon

La planification de la production se fait au niveau du departement commercial le service planning et prevision par decade, néanmoins, le staf du département production fait sa planification journalière et peut apporter des modifications si nécessaire en cas de perturbation [15].Le schéma des huiles finies et des graisses de l'unité est ci-dessus dans le (figure.3) :

#### **1.4.2. Les risques au niveau de l'unité 3100**

Même si l'unité ne représente pas de risques extrêmement dangereux mais ils existent, nous pouvons citer [14] :

Risques glissades, chutes de plain-pieds sur sols glissants surviennent quand il ya des déversements accidentels et les surfaces humides et graisseurs.

Risque de blessure.

Risque d'incendie si des produits ou des vapeurs s'échappant des zones de mélange des lubrifiants de préparation des graisses ou des aires de stockage entrent en contact avec un source d'inflammation.

Risques d'explosion surtout quand des liquides inflammables et combustibles sont stocké et distribués à des températures supérieurs à leur point d'éclair.

Risque d'exposition à des vapeurs d'huiles, à des fumées et des vapeurs nocives des additifs

Risque d'exposition au bruit et à la chaleur lors des travaux d'inspection et d'entretien lors du prélèvement et de la manutention d'hydrocarbure et d'additifs , au cours de la fabrication et du conditionnement ainsi que lors du nettoyage des débords accidentels et des fuites de produits.

Risques pour la santé liés à la contamination microbienne des huiles peuvent être résumés comme suite :

- Les risques d'aggravation d'affections cutanées préexistantes
- Les maladies respiratoires dues à des aérosols respirables de lubrifiants.
- Les altérations de la présence de micro-organismes qui le rendent pathogène.

Dans notre étude nous nous intéresserons principalement aux risques dû au déversement des huiles et additifs, à savoir : les risques d'exposition et de glissade.

De ce fait, l'évènement redouté pour nous sera le risque de déversement et qui sera le déclencheur de l'étude.

#### **I.4.3. La liste des équipements de l'unité 3100**

Dans cette liste, nous trouvons les différents équipements de l'unité 3100 : les bacs additifs, Les bacs stockages, les bacs huiles, les bacs huiles de base, les ballons de pré mélange, les ballons mélanges des huiles, ballon de solvant, fosse collecte des égouttures, ballon récupération des condensats, les pompes huiles de bases, pompes secours, pompes transferts ballon, pompe solvant, pompes huiles, pompe ballon d'égouttures, pompe vidange ballon, pompe reprise des condensats, les agitateurs du ballon, les agitateurs du TK (voir annexe).

## **I.5. Système de maintenance G[16]**

### **I.5.1. Définition de la maintenance**

« Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » .....Selon la norme afnor

On a les Types suivants de maintenance :

-Maintenance Préventive : Maintenance effectuée selon des critères prédit

-Systématique : selon un échancier établi en fonction du temps ou du nombre d'unité d'usage

-Conditionnelle : subordonnée à un type d'événement.

-Maintenance Corrective : Maintenance effectuée après défaillance

Autres types de maintenance

Totale Productive Maintenance (TPM)

Il s'agit d'un modèle de gestion refusant la séparation de l'utilisateur et de réparateur du premier degré (serrage des fuites, nettoyage, graissage...)

### **I.5.2. Définition du système G**

**G** : c'est juste un code pour système de maintenance.

Système d'organisation de la maintenance : qui a permis aux entreprises de passer du dépannage à l'entretien en privilégiant une maintenance conditionnelle et qui cherche à évoluer vers une maintenance prédictive qui consiste en la surveillance de l'évolution des états des installations , permet des interventions "juste a temps".

Le Système "**G**" ,élaboré en 1977, est un système manuel qui sera donnée dans cette formation afin de s'approprier les fondements et les mécanismes établis. Ceci ne dispense aucunement le système d'être informatisé et développé.Il est souhaitable que les questions visent la connaissance du système "**G**" tel qu'il a été conçu.

Ce système integre les fonctions de :

- A : Approvisionnements
- G: Maintenance

- T: Technique
- I: Sécurité
- S: Personnel

### **I.5.3.Le Manuel d'Organisation de la Maintenance**

Il ya 3 systèmes : de base(GB),d'arrêt programmé (GA) et d'entretien préventif (SOP).

**Le Système de Base (GB) :** Ce Système, traité dans le Manuel d'Organisation GB, organise la Maintenance dans ses Activités Quotidiennes et Routinières

GB1. Organisation Générale de la Maintenance

GB2. Procédures de Travail

GB3. Supports & Formulaire

**Alors le département maintenance est organisé comme suit :**

Fonction : (execution) qui realise sur le terrain les traveaux d'entretien ,demandes par la production.

Fonction : (staff) qui aide le travail de l'execution en preparant le travail (section préparation) aussi en panifiant la realisation du travail dans le temps et rentabilisant les ressources (section planning et en tenant a jour les statistiques (section statistiques).

Les deux sections qui nous interessent c'est :

**A-section préparation :** qui a pour rôle d'aider les Services Opérationnels en leur donnant tous les éléments nécessaires à l'exécution des travaux sur les aspects suivant : mode opératoire, durée & delais et moyens Requis

Donc, c'est elle qui determine les tâches et leurs durées (pour l'entretien préventif et correctif)

En définissant les mesures de sécurité à prendre avec :

- La Gamme Opératoire : les points clés de l'intervention et les phases du travail et leur enclenchement
- Les moyens nécessaires: matières, pièces et outillages

- Le nombre d'exécutants nec. par craft
- La durée estimée du travail

**B- La section planification :** qui a pour rôle de répartir au mieux le travail à exécuter dans le temps en tenant compte des moyens disponibles et en économisant les coûts d'intervention. Ils produisent un PJT (Programme Journalier des Travaux du Lendemain) et des planning :

Programmes d'Entretien Préventif, Plannings d'Arrêts Programmés : de Travaux Neufs et de Travaux Exceptionnels

Encas d'anomalies remarquées par les chefs de section production ils font des demandes d'intervention (DT) en précisant la priorité pour que le planificateur puisse bien la programmer.

Ensuite ces demandes sont classées selon des genres :

**Accidentel :** tout travail de réparation ou de remplacement exécuté à la suite de défaillance des équipements

**Préventif :** toute intervention résultant d'un programme d'entretien préventif, des inspections importées par la loi.

**Modifications/ départements :** toute modification ou déplacement d'installation ou d'équipements.

**Travaux permanents :** toute les travaux couverts par les D.T.P

Donc, le planificateur, programme les interventions selon : l'urgence, la disponibilité du matériel, de l'équipement à entretenir et le personnel.

**C- La section statistiques :**

On trouve dans cette section :

**Les Rapports d'activités :** établir les rapports hebdomadaires mensuels et annuels.

**Les fiches historiques :** historiques des équipements.

**Les archives :** établir et administrer les archives du département

**Les statistiques** : appliquer les méthodes statistiques aux problèmes techniques (entretien préventif) et budgétaires.

Donc, pour faire des comparaisons, il faut s'approcher de la section statistique pour avoir des données sur le taux d'intervention en préventif et en correctif.

**Remarque** : l'entreprise a mis récemment en place un GMAO GATIOR (Gestion de maintenance Assistée par Ordinateur) développé par la société mère SONATRACH qui automatise le système. Ce système nous a permis de collecter les données nécessaires à notre étude. Notamment les défaillances, leurs occurrences et durées.

## I.5.4.Bilan 2008

Departement maintenance  
Service planning et méthodes

U.3000

NAFTEC-Spa		PROGRAMME			Hr NORMAUX										DATE (2)	Dept
		JOURNALIER DE TRAVAIL			(1)										01/03/2008	P3
															PLANIFICATEUR N. BENMBAREK	PAGE 1
DT N°	PR	REPERES	DESCRIPTIONS	T	C	E	R	P	G	M	O	Q	OBSERVATION			
(6)	(7)	(8)	(9)	(10) AGENTS X HEURES										(11)		
40033	3	U.3000	Entretien chaine 200L	2x7		2x7	2x7									
40034	3	U.3900	Entretien chaine 2L/5L	2x7		2x7	2x7									
40024	3	U.3000	Lubrification	2x1												
40025	3	U.3900	Lubrification	2x1												
17238	3	U:3100	Débouchage des conduites du 2 <sup>eme</sup> étage					/								
16408	3	U.3900	Réparation réfrigérateur			2x7										
10359	3	U.3000	Emplacement 02 portes du P3					2x7								
15434	3	U:3000	Réparation chariots		/											
<b>TOTAUX</b>				32		42	28	14								

Tableau 2 : Bilan de l'unité 3100 (département maintenance) 01/03/2008 [15].

## **I.6. Conclusion**

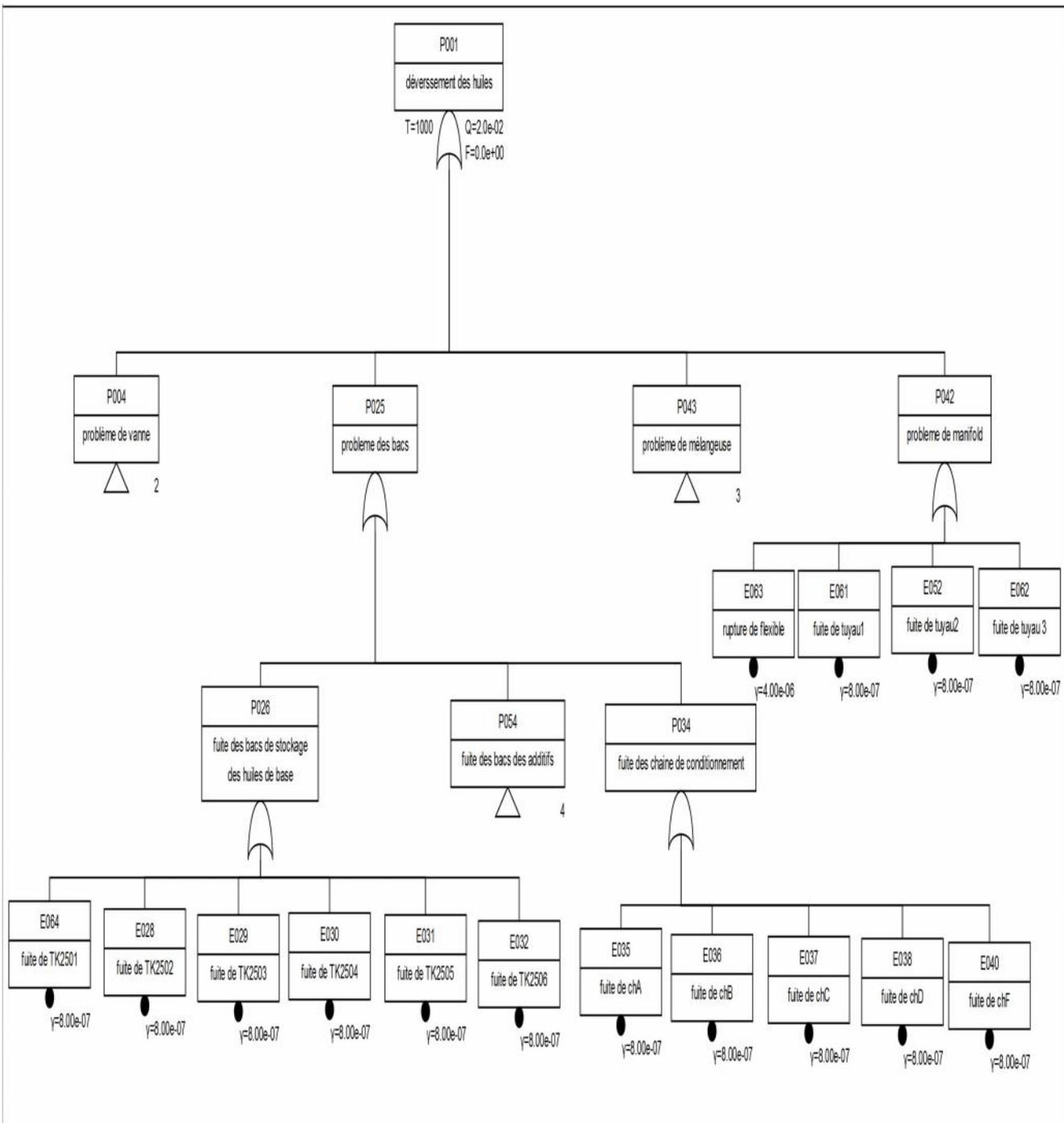
Dans ce chapitre nous avons présenté notre cas d'étude et principalement l'unité 3100) et après avoir déterminé les événements redoutés au niveau de cette unité, l'analyse de la sûreté de fonctionnement peut être effectuée en utilisant les statistiques du département maintenance de la raffinerie. La réalisation de l'arbre de défaillance sera présentée dans le chapitre suivant.

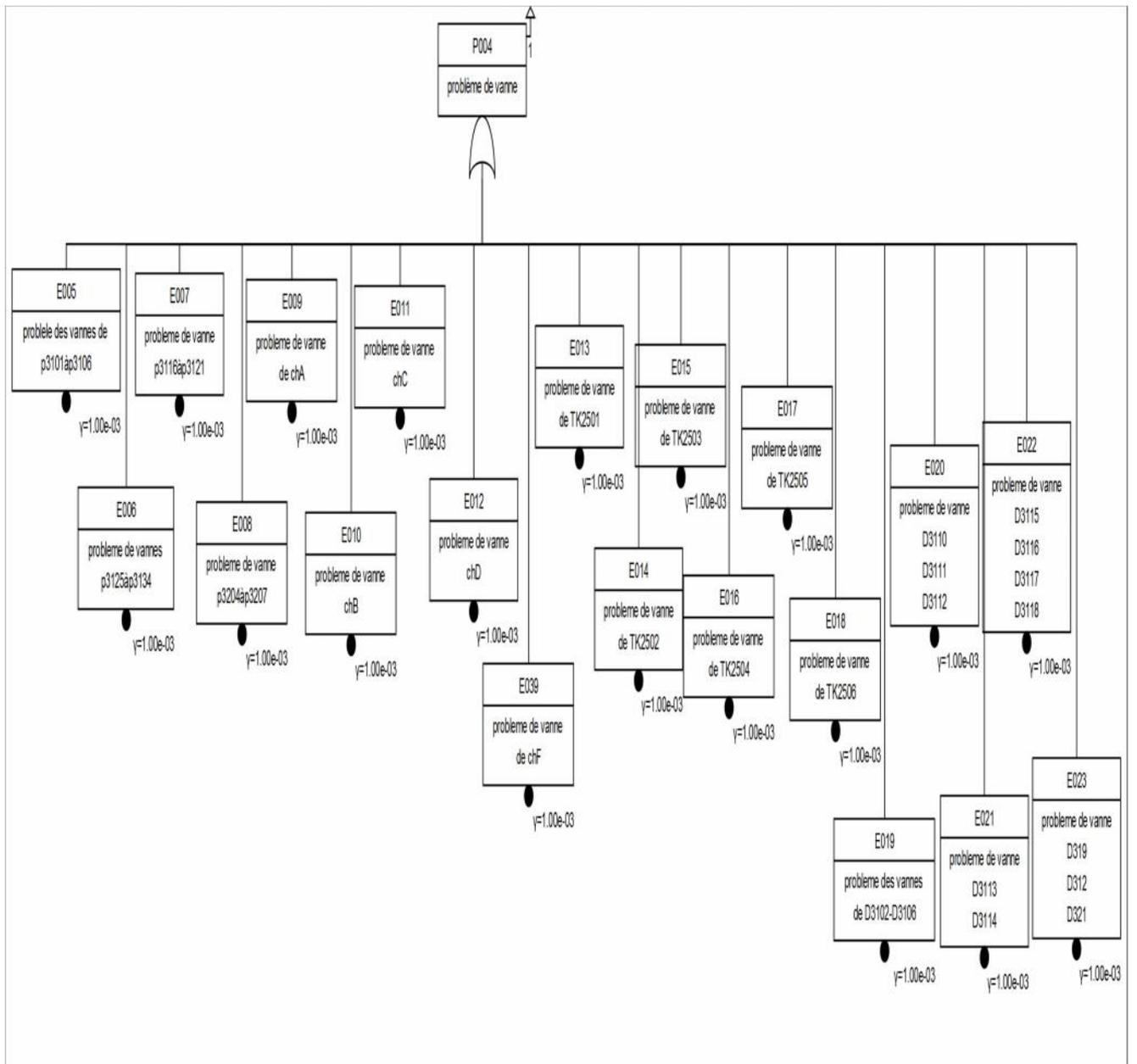
## **Chapitre II : réalisation de l'arbre de défaillance.**

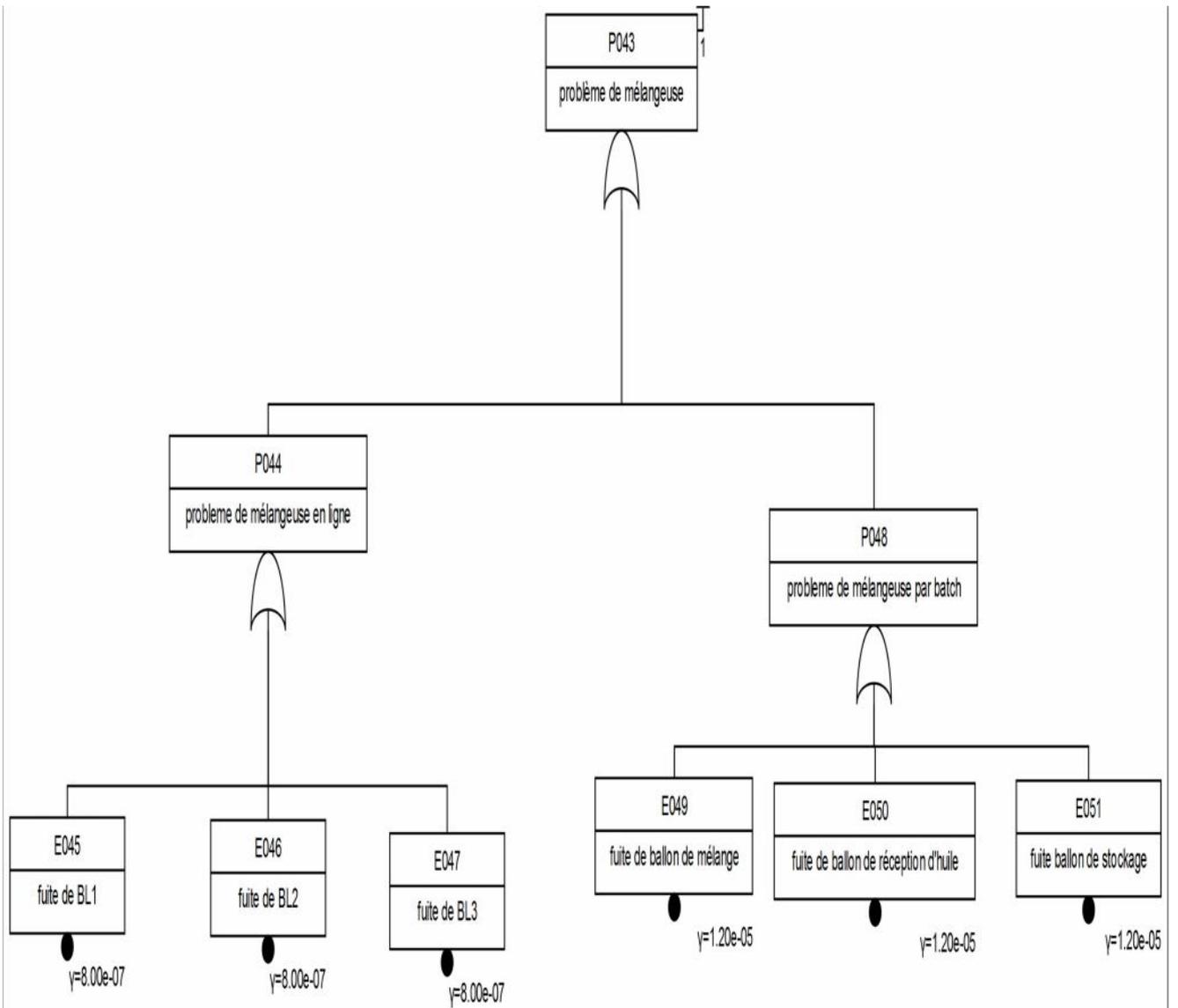
## **II.1.Introduction**

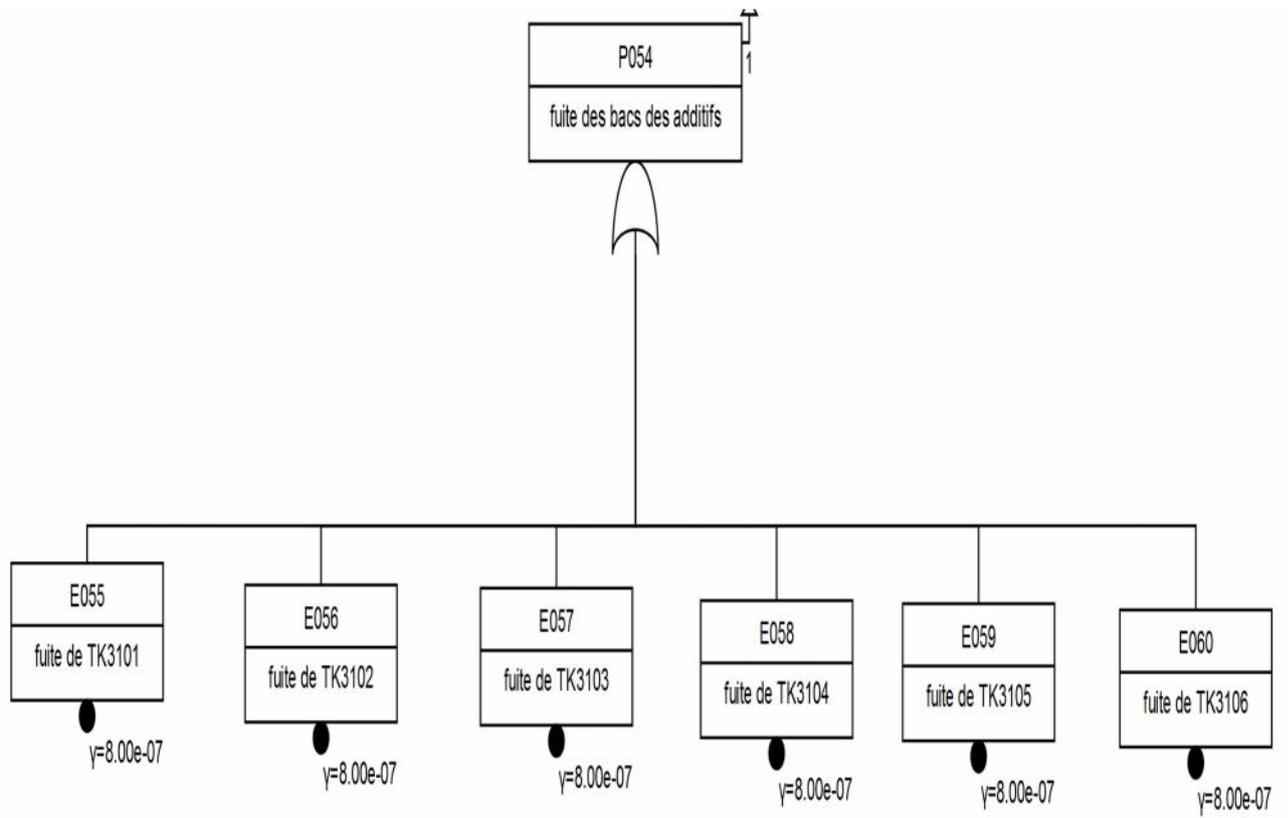
Le présent chapitre sera consacré à l'application de l'arbre de défaillance et l'analyse des facteurs présentés au chapitre (II) partie théorique pour déterminés les causes et les degrés d'importance et de l'influence de certains évènements sur la présence des risques à l'unité 3100, en considérant les données du chapitre (I) partie pratique comme référentielles.

## **II.2.construction de l'arbre**









**Remarque :**Après la réalisation de l'arbre de défaillance sur le papier, on le réalisera à l'aide du logiciel (Arbre analyste) pour intégrer les probabilités des évènements de base et procéder à l'analyse.1.Le tableau ci-dessous représente les probabilités d'occurrence des événements de base.

Les événements de base	Les probabilités	La source
Fuite de TK2501	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de TK2502	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de TK2503	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de TK2504	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de TK2505	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de TK2506	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de tuyau 1	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de tuyau 2	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de tuyau 3	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de chA	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de chB	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de chC	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de chD	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Fuite de chF	8.10 <sup>-7</sup> /m.an	FRED
Problème des vannes de P3101à3106	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI
Problème de vanne P3116à3121	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI
Problème de vanne P3125 à p3134	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI
Problème de vanne P3204àp3207	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI
Problème de vanne De chA	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI
Problème de vanne	10 <sup>-3</sup> /an	ICSI

De chB		
Problème de vanne De chC	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De chD	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De chF	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2501	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2502	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2503	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2504	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2505	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De TK2506	10-3/an	ICSI
Problème de vanne De D3102-D3106	10-3/an	ICSI
Problème de vanne D3110 D3111 D3112	10-3/an	ICSI
Problème de vanne D3113 D3114	10-3/an	ICSI
Problème de vanne D3115 D3116 D3117 D3118	10-3/an	ICSI
Problème de vanne D319 D312 D321	10-3/an	ICSI
Fuite de BL1	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de BL2	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de BL3	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de ballon de mélange	1,2.10-5/an	HB
Fuite de ballon de réception d'huile	1,2.10-5/an	HB
Fuite de ballon de stockage	1,2.10-5/an	HB
Fuite de TK3101	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de TK3102	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de TK3103	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de TK3104	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de TK3105	8.10-7/m.an	FRED
Fuite de TK3106	8.10-7/m.an	FRED
Rupture de flexible	4.10-6/h	HB

HB : LNE, Handboek Faalfrequenties (Handboek Kanscijfers – AMINAL), *guideméthodologique*, 2009.

FRED :HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments –(FRED), 28 juin 2012.

ICSI : ICSI, Résumé des travaux du groupe de travail « fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention », juillet 2006.

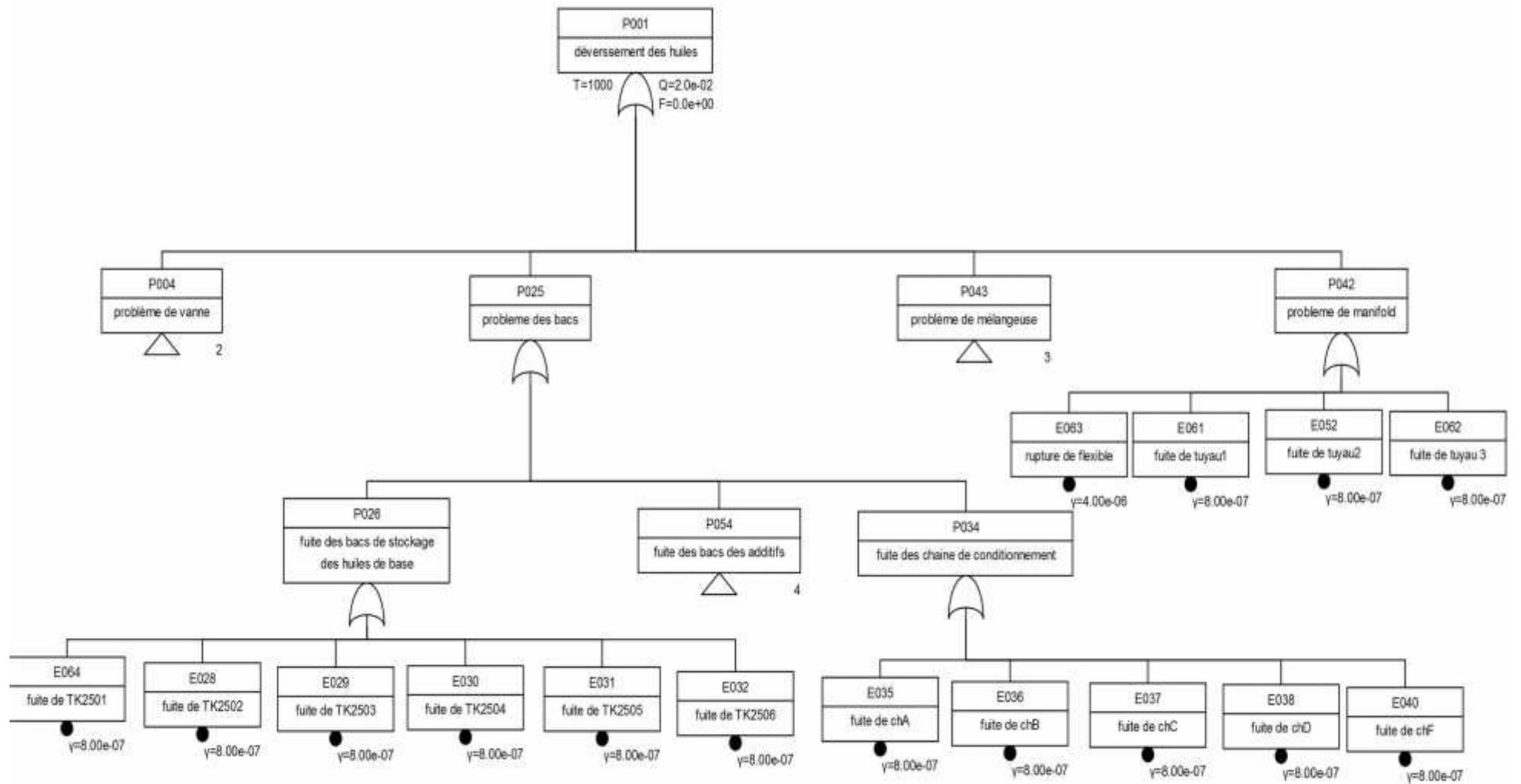


Fig.5.L'arbre de défaillance principale.

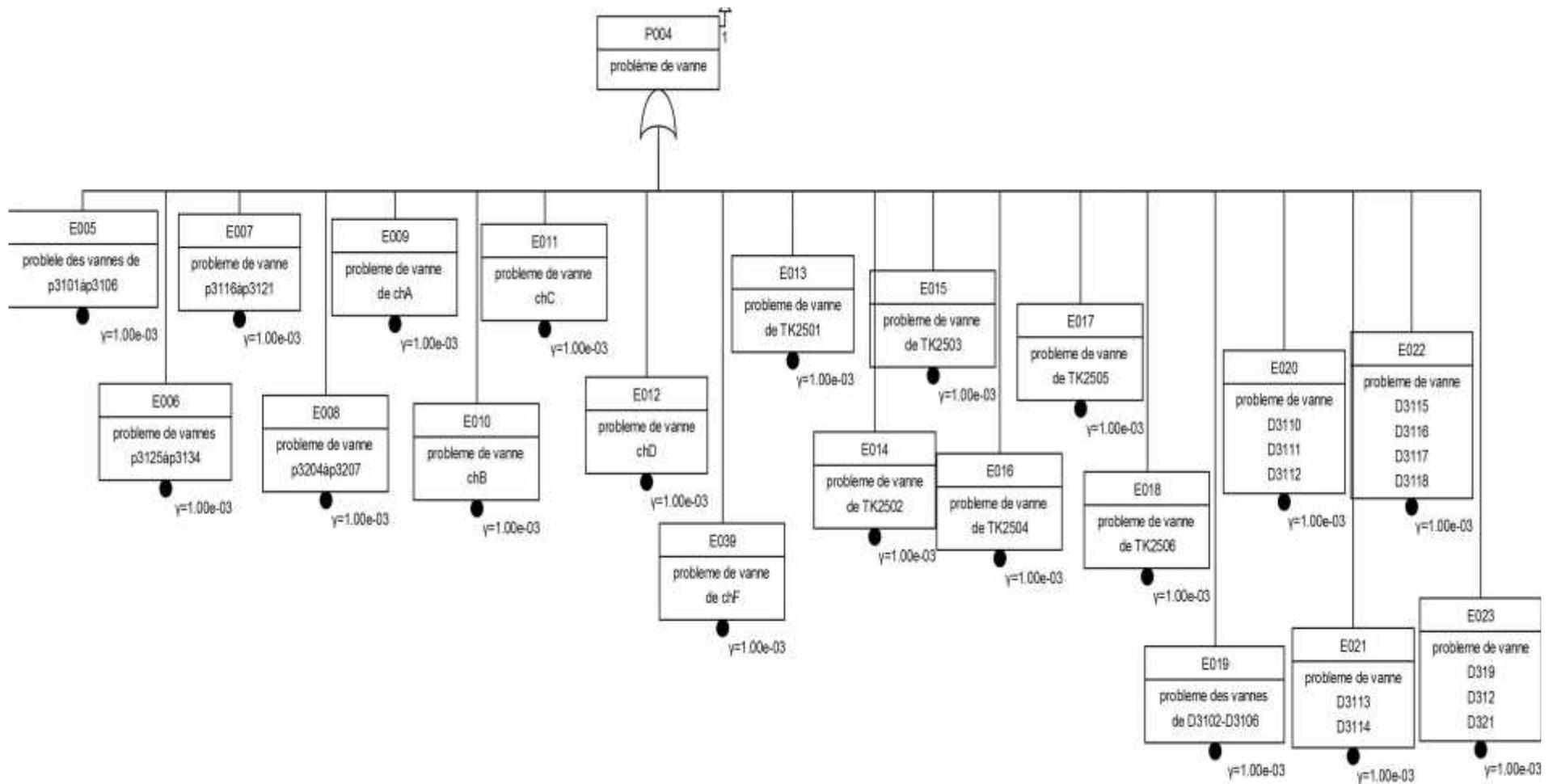


Fig.6. Le transfert de la sous-arbre N°1

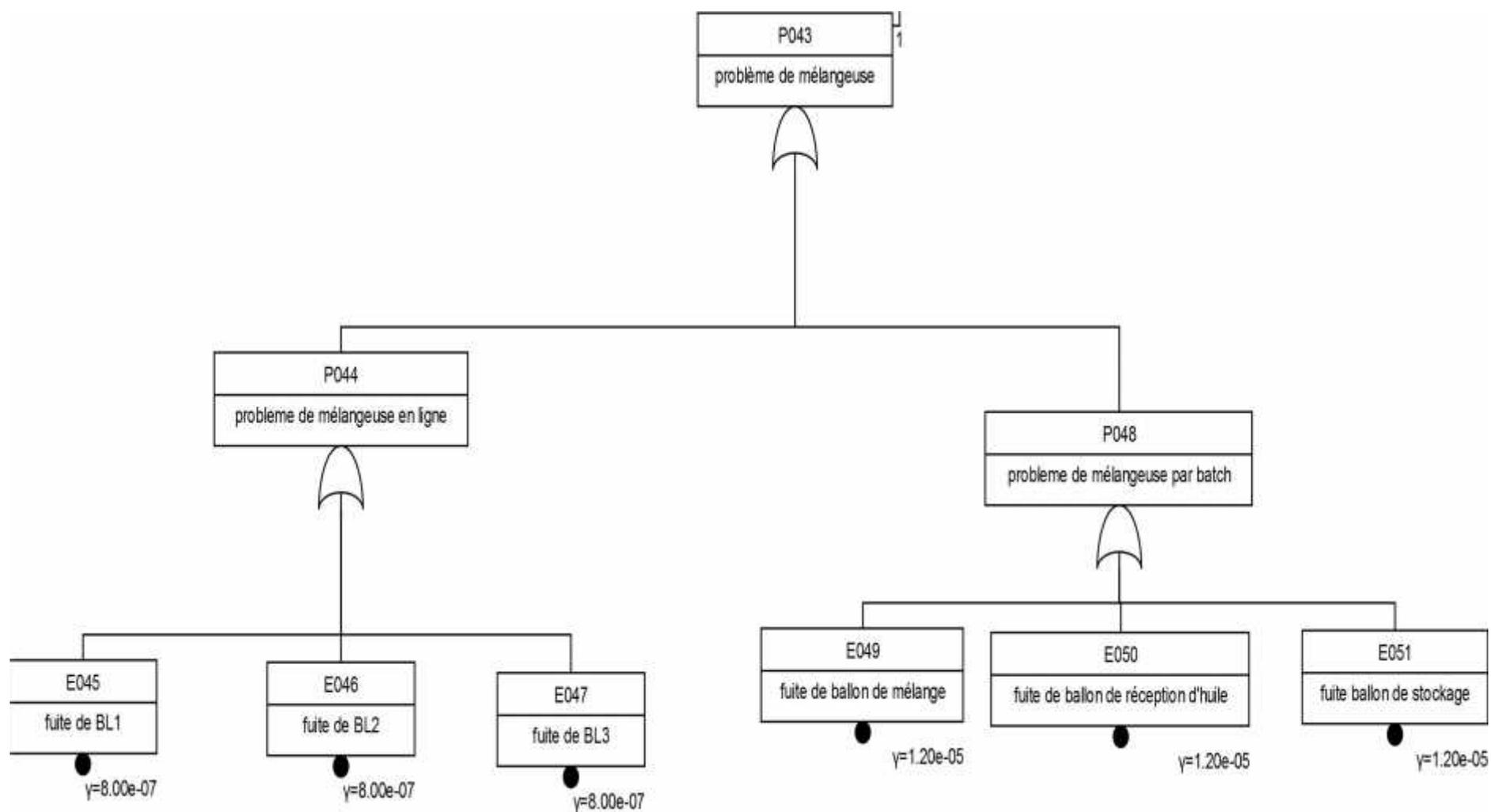
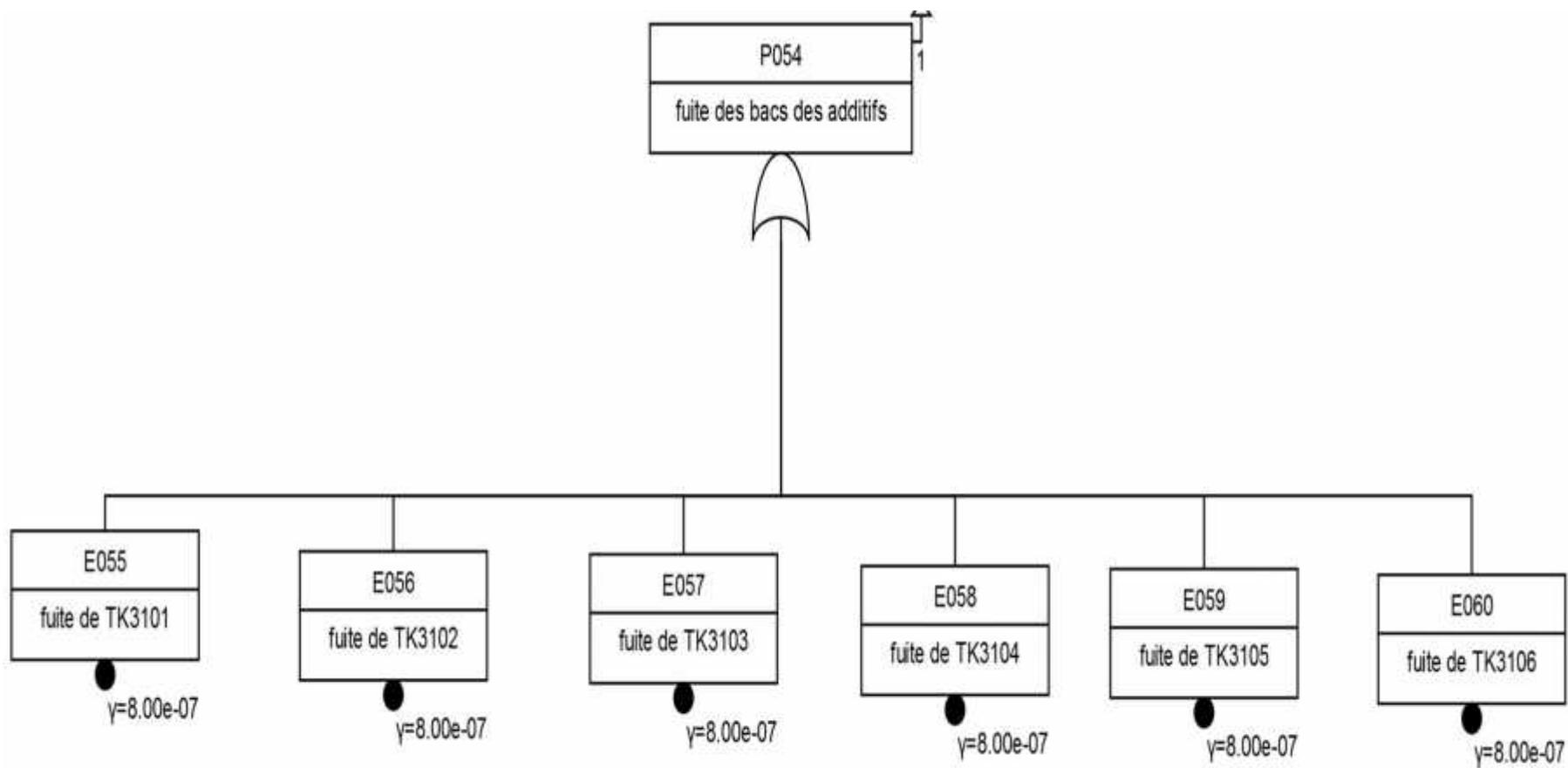


Fig.7.Le transfert de la sous-arbre N°2



**Fig.8.**Le transfert de la sous-arbre N°3

**Remarque :**Après la réalisation de l'arbre de défaillance sur le papier, on le réalisera à l'aide du logiciel (Arbre analyste) pour intégrer les probabilités des évènements de base et procéder à l'analyse.

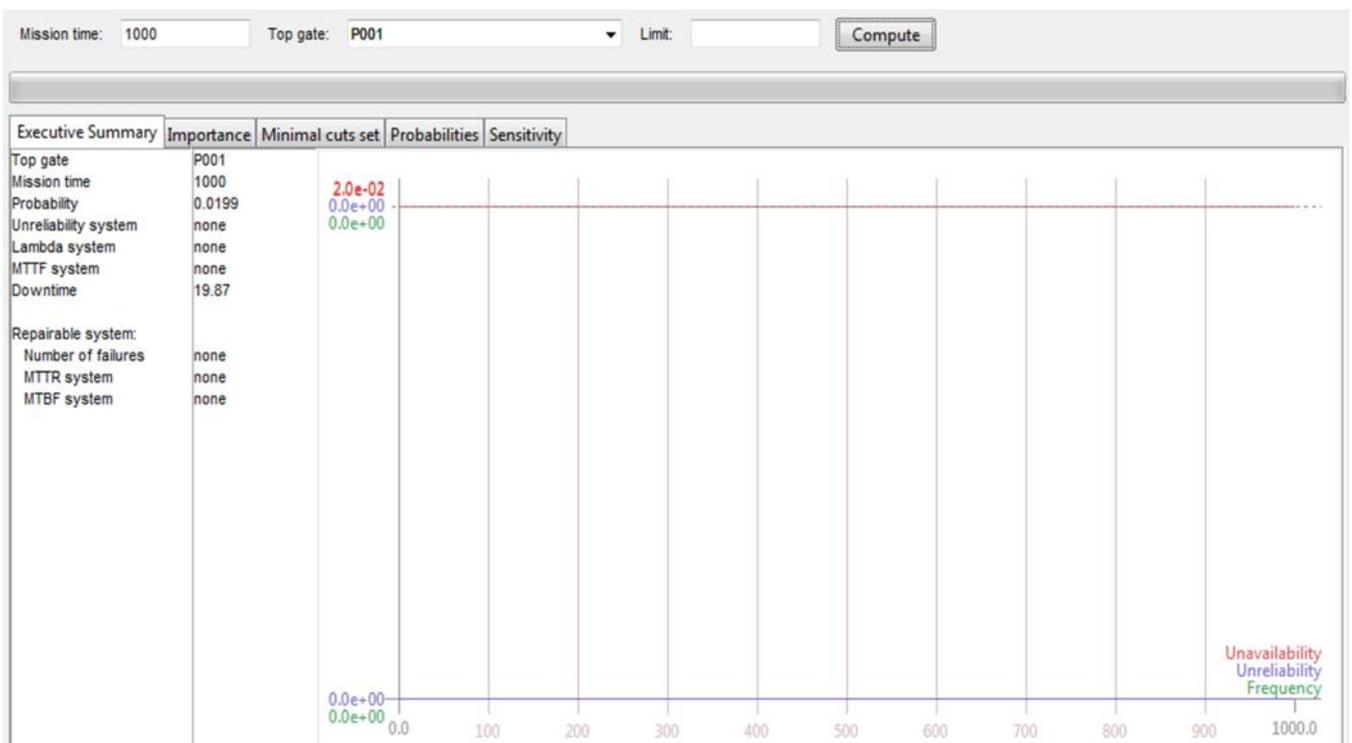
## II.3.Analyse de l'arbre

### II.3.1Description structurelle de l'arbre

Notre arbre est nommé en tête par l'événement redouté principale « déversement des huiles », ce dernier occasionné par quatre (4) événements redouté secondaires, ces événements sont découlés par cinq (5) événements intermédiaires qui sont la résultante du déclenchementdu multiple événement élémentaire (47événement de base) liés soit aux facteurs techniques, soit aux facteurs humains. (voire annexe pour la version réalisée sur Arbre Analyste © réf) .

Nous lançons la simulation pour 1000 ans qui représente l'infinie.

Nous remarquons que le taux de fiabilité du système est stable et ceci est du aux taux de defaillances des différents événements de base qui sont tous constants.



**Fig.9** .le schéma représente l'exécution de l'arbre.

### II.3.1.1.Les coupes minimales

Mission time: 1000    Top gate: P001    Limit:    Compute

Executive Summary	Importance	Minimal cuts set	Probabilities	Sensitivity
N°	Quantity	Probability	Percent	Events
1	1	0.001	0.0498544	E005
2	1	0.001	0.0498544	E006
3	1	0.001	0.0498544	E007
4	1	0.001	0.0498544	E008
5	1	0.001	0.0498544	E009
6	1	0.001	0.0498544	E010
7	1	0.001	0.0498544	E011
8	1	0.001	0.0498544	E012
9	1	0.001	0.0498544	E039
10	1	0.001	0.0498544	E013
11	1	0.001	0.0498544	E014
12	1	0.001	0.0498544	E015
13	1	0.001	0.0498544	E016
14	1	0.001	0.0498544	E017
15	1	0.001	0.0498544	E018
16	1	0.001	0.0498544	E019
17	1	0.001	0.0498544	E020
18	1	0.001	0.0498544	E021
19	1	0.001	0.0498544	E022
20	1	0.001	0.0498544	E023
21	1	1.2e-005	0.000598253	E049
22	1	1.2e-005	0.000598253	E050
23	1	1.2e-005	0.000598253	E051
24	1	4e-006	0.000199418	E063
25	1	8e-007	3.98835e-005	E064
26	1	8e-007	3.98835e-005	E028
27	1	8e-007	3.98835e-005	E029
28	1	8e-007	3.98835e-005	E030
29	1	8e-007	3.98835e-005	E031

Mission time: 1000    Top gate: P001    Limit:    Compute

Executive Summary	Importance	Minimal cuts set	Probabilities	Sensitivity
19	1	0.001	0.0498544	E022
20	1	0.001	0.0498544	E023
21	1	1.2e-005	0.000598253	E049
22	1	1.2e-005	0.000598253	E050
23	1	1.2e-005	0.000598253	E051
24	1	4e-006	0.000199418	E063
25	1	8e-007	3.98835e-005	E064
26	1	8e-007	3.98835e-005	E028
27	1	8e-007	3.98835e-005	E029
28	1	8e-007	3.98835e-005	E030
29	1	8e-007	3.98835e-005	E031
30	1	8e-007	3.98835e-005	E032
31	1	8e-007	3.98835e-005	E035
32	1	8e-007	3.98835e-005	E036
33	1	8e-007	3.98835e-005	E037
34	1	8e-007	3.98835e-005	E038
35	1	8e-007	3.98835e-005	E040
36	1	8e-007	3.98835e-005	E055
37	1	8e-007	3.98835e-005	E056
38	1	8e-007	3.98835e-005	E057
39	1	8e-007	3.98835e-005	E058
40	1	8e-007	3.98835e-005	E059
41	1	8e-007	3.98835e-005	E060
42	1	8e-007	3.98835e-005	E061
43	1	8e-007	3.98835e-005	E052
44	1	8e-007	3.98835e-005	E062
45	1	8e-007	3.98835e-005	E045
46	1	8e-007	3.98835e-005	E046
47	1	8e-007	3.98835e-005	E047

**Fig.10.**le schémareprésente les coupes minimales de l’arbre.

**Il existe 47 coupes minimales dans notre arbre**

**II.3.1.1.1L’interprétation de la figure**

- 1.«problème des vannes de p3101àp3106 »
- 2.«problème de vanne p3125à3134 »
- 3.«problème de vanne p3116àp3121 »
- 4.« problème de vanne p3204àp3207 »
- 5.«problème de vanne de chA »
- 6.« problème de vanne de chB »
- 7.« problème de vanne de chC »

- 8.« problème de vanne de chD »
- 9.« problème de vanne de chF »
- 10.« problème de vanne de TK2501 »
- 11.«problème de vanne de TK2502 »
12. « problème de vanne de TK2503»
- 13.«problème de vanne de TK25014»
- 14.«problème de vanne de TK2505 »
- 15.« problème de vanne de TK2506 »
- 16.« problème de vanne de D3102-D3106 »
- 17.« problème de vanne de D3110/D3111/D3112»
- 18.« problème de vanne de D3113/D3114»
- 19.«problème de vanne de D3115/D3116/D3117/D3118 »
- 20.« problème de vanne de D319/D312/D321 »
- 21.« fuite de ballon de mélange »
- 22.« fuite de ballon de réception d'huile»
- 23.« fuite ballon de stockage »
- 24.« rupture de flexible »
- 25.« fuite de TK2501 »
- 26.« fuite de TK2502 »
- 27« fuite de TK2503 »

- 28.«fuite de TK2504 »
- 29.«fuite de TK2505 »
- 30.« fuite de TK2506 »
- 31.« fuite de chA »
- 32.« fuite de chB»
- 33.« fuite de chC»
- 34.« fuite de chD»
- 35.«fuite de chF »
- 36.« fuite de TK3101 »
- 37.« fuite de TK3102»
- 38.«fuite de TK 3103 »
- 39.«fuite de TK3104 »
- 40.« fuite de TK3105 »
- 41.« fuite de TK3106 »
- 42.« fuite de tuyau1 »
- 43.« fuite de tuyau2 »
- 44.« fuite de tuyau3 »
- 45.« fuite de BL1»
- 46.« fuite de BL2»
- 47.« fuite de BL3»

## II.3.1.2. Les facteurs d'importance

Mission time: 1000 Top gate: P001 Limit: Compute

Executive Summary							
Basic event	Occurrences	Pr	MIF	CIF	DIF	RAW	RRW
E005	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E006	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E007	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E008	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E009	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E010	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E011	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E012	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E039	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E013	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E014	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E015	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E016	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E017	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E018	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E019	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E020	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E021	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E022	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E023	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E064	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E028	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E029	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E030	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E031	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E032	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E035	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E036	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E037	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004

Mission time: 1000 Top gate: P001 Limit: Compute

Executive Summary							
Basic event	Occurrences	Pr	MIF	CIF	DIF	RAW	RRW
E022	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E023	1	0.001	1	0.0498544	0.0508046	50.8046	1.05247
E064	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E028	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E029	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E030	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E031	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E032	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E035	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E036	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E037	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E038	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E040	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E055	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E056	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E057	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E058	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E059	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E060	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E061	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E052	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E062	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E063	1	4e-006	1	0.000199418	0.000203417	50.8542	1.0002
E045	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E046	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E047	1	8e-007	1	3.98835e-005	4.06835e-005	50.8544	1.00004
E049	1	1.2e-005	1	0.000598253	0.000610246	50.8538	1.0006
E050	1	1.2e-005	1	0.000598253	0.000610246	50.8538	1.0006
E051	1	1.2e-005	1	0.000598253	0.000610246	50.8538	1.0006

Fig.11. le schémareprésente les facteurs d'importance.

### **II.3.1.2.1 L'interprétation de la figure**

#### **Les évènements de base**

E005 « problème des vannes de p3101 à 3106 »

E006 « problème de vanne p3125 à 3134 »

E007 « problème de vanne p3116 à 3121 »

E008 « problème de vanne p3204 à 3207 »

E009 « problème de vanne de chA »

E010 « problème de vanne de chB »

E011 « problème de vanne de chC »

E012 « problème de vanne de chD »

E039 « problème de vanne de chF »

E013 « problème de vanne de TK2501 »

E014 « problème de vanne de TK2502 »

E015 « problème de vanne de TK2503 »

E016 « problème de vanne de TK2504 »

E017 « problème de vanne de TK2505 »

E018 « problème de vanne de TK2506 »

E019 « problème des vannes de D3102-D3106 »

E020 « problème de vanne D3110/3111/3112 »

E021 « problème de vanne D3113/D3114 »

E022 « problème de vanne D3115/D3116/D3117/D3118 »

E023 « problème de vanne D319/D312/D321 »

E064 « fuite de TK2501 »

E028 « fuite de TK2502 »

E029 « fuite de TK2503 »

E030 « fuite de TK2504 »

E031 « fuite de TK2505 »

E032 « fuite de TK2506 »

E035 « fuite de chA »

E036« fuite de chB »

E037« fuite de chC »

E038« fuite de chD »

E040« fuite de chF »

E055« fuite de TK3101 »

E056« fuite de TK3102 »

E057« fuite de TK3103»

E058« fuite de TK3104 »

E059« fuite de TK3105 »

E060« fuite de TK3106 »

E061 « fuite de tuyau1 »

E052« fuite de tuyau2 »

E062« fuite de tuyau3 »

E063« rupture de flexible »

E045 « fuite de BL 1»

E046« fuite de BL2 »

E047« fuite de BL3 »

E049 « fuite de ballon de mélange »

E050 « fuite de ballon de réception d'huile »

E051 « fuite ballon de stockage »

**-Facteur d'Importance Critique (CIF) :** 0.0498544 la valeur maximale correspondant à plusieurs événements tel que les problèmes de vannes et les fuites de tanks.

**-Facteur d'Importance de Diagnostic (DIF) :**0.508046 la valeur maximale, ça concerne les mêmes événements critiques ce qui veut dire qu'il faut toujours commencer le diagnostic par ces événements critiques.

**-Facteur d'Augmentation du Risque (RAW ou RIF) :**50.8544 la valeur maximale ,ces événements de base qui sont critiques sont aussi des facteurs d'augmentation de risque, par exemple si un premier événement critique survient et ensuite un 2eme se déclenche il ne fera que augmenter le risque de déclencher l'évènement redouté qui est le déversement des huiles, et c'est normale car la quantité déversée ne sera que augmentée.

**-Facteur de Diminution du Risque (RRW ou RDF) :**1.05247 la valeur maximale ça concerne toujours ces mêmes événements de base, donc un entretien de ces composants pourrait réduire considérablement l'occurrence de l'évènement redouté.

## Conclusion

En utilisant le logiciel arbre analyste (<http://www.arbre-analyste>) nous avons pu construire l'arbre correspondant au risque de « déversement des huiles » dans l'unité 3100 de la raffinerie .ce logiciel permet de faire des simulations et analyser les résultats en utilisant les facteurs d'importance. Nous avons, de ce fait, défini les événements de base critiques qui peuvent engendrer l'évènement redouté déversement d'huile ainsi, nous recommandons de prêter une attention particulière à la surveillance et l'entretien des équipements concernés.

## CONCLUSION GENERALE

Depuis des années, les études sécuritaires sont de plus en plus approfondies et pointeuses intégrant l'exactitude et la rigueur des mathématiques.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'analyse quantitative des risques en utilisant la méthode arbre de défaillance.

Deux parties ont fait l'objet de présent mémoire : le premier est une partie théorique qui consiste en une recherche sur la démarche globale d'analyse des risques et les principales méthodes quantitatives appliquées dans cette démarche, la méthode arbre de défaillance a été présentée d'une manière détaillée. Le but était de définir le cadre du présent travail.

La seconde partie à l'application de l'arbre de défaillance et l'analyse des facteurs d'importance à l'unité 3100 de la raffinerie d'Arzew (NAFTEC/RA1Z).

Le logiciel Arbre-Analyste nous a facilité la tâche de lancement des travaux d'élaboration de l'arbre d'analyse et de la simuler. Cet arbre concerne l'évènement redouté déversement d'huile qui peut engendrer des risques d'incendie et de glissade des personnes. La simulation de l'arbre, et en utilisant les facteurs d'importance, nous a permis de définir les événements de base critiques et qui influent beaucoup sur la réalisation de l'évènement redouté, de ce fait une attention particulière leur doit être allouée en terme d'entretien et de renforcement.

Finalement, nous espérons que cette étude ouvre la voie à un ensemble de sujets qui devraient servir à l'avancement des connaissances dans le domaine d'analyse des risques.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] [www.dmipfmv.ulg.ac.be/epidemiovet/Teaching/2DOC/chapitre%209.pdf](http://www.dmipfmv.ulg.ac.be/epidemiovet/Teaching/2DOC/chapitre%209.pdf), visite le 02/04/2017.
- [2] [www.emploi.belgique.be/publication.défaut.aspx?id=3732](http://www.emploi.belgique.be/publication.défaut.aspx?id=3732) au brochure, analyse des risques(L1)(PDF,1009KB),2009.
- [3][www.case-france.com/L'analyse%20de%20risque%20pour%20les%20débutants.pdf](http://www.case-france.com/L'analyse%20de%20risque%20pour%20les%20débutants.pdf), visite le 04/04/2017.
- [4] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6411/05.pdf?sequence=6>, visite le 02/04/2017.
- [5][http://gpp.oiq.qc.ca/criteres\\_pour\\_selectionner\\_la\\_methode\\_d\\_analyse\\_la\\_plus\\_appropriee](http://gpp.oiq.qc.ca/criteres_pour_selectionner_la_methode_d_analyse_la_plus_appropriee), publié en 05/2011.htm, publ, consulté en 12/2014.
- [6] <https://www.previnfo.fr/sections.php?op=viewarticle&artid=38>,visite le 03/04/2017.
- [7] PDF Représentations of CombinationalLogic Circuits [archive], sur berkeley.edu, consulté le 14 juillet 2016.
- [8] [http://www.arbre-analyste.fr/doc/doku.php/theorie:facteurs\\_importance](http://www.arbre-analyste.fr/doc/doku.php/theorie:facteurs_importance), visite le 28/04/2017.
- [9] N.AISSANI, (*Pilotage adaptatif et réactif pour un système de production à flux continu: application à un système de production pétrochimique*),thèse de doctorat,L'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis Préparée au laboratoire TEMPO, équipe PSI, France, et l'université d'Oran.2010.
- [10]Document technique de la raffinerie, RA1/Z, Oran, 2010.
- [11]<https://www.officiel-prévention.com/risque/détail-CHSCT>,visite le 06/06/2017.
- [12] [https://www.officiel-prévention.com/risque\\_chimique/détail-CHSCT](https://www.officiel-prévention.com/risque_chimique/détail-CHSCT), visite le 06/06/2017.
- [13] Adaptée depuis les fiches techniques de la raffinerie, RA1/Z, Oran 2010.
- [14]<https://Books.google.dz/book?isbn=9222098161> Jeanne Mager Stellman-2000, visite le 24/06/2017.
- [15] Document technique, unité 3100 de la raffinerie d'Arzew, Oran, 2010.
- [16] guide utilisateur système G de la raffinerie, RA1/Z, Oran, 2010.

## ANNEXE

Item	Repère	Désignation	Numéro de fabrication	Etat actuel
1	TK3101àTK3106	Bac additifs	3393 3394 3412 3395 3396 3397 3398	En service
8	TK3107etTK3108	Bac stockage	3399 3400	En service
10	TK3109àTK3119	Bac huiles	3401à3411	En service

Item	Repère	Désignation	Numéro de fabrication	Etat actuel
1	TK2501	Bac huile de base SPO		En service
2	TK2502 TK2801 TK2802	Bac huile de base SAE10	15435 15437 28336	En service
3	TK2503 TK2506 TK2803	Bac huile de base SAE30	15436 15430 28336	En service
4	TK2504 TK2505 TK2804	Bac huile de base B /S1 B/S2 B/S	15428 15429 28336	En service

Item	Repère	Désignation	Numéro de fabrication	Etat actuel
1	D3101 à D3109	Ballon de pré mélange	3368 à 3376	En service
10	D3110 à D3112	Mélange des huiles hydraulique	3377 à 3379	En service
13	D3113 et D3114	Ballon mélange des huiles turbine	3380 et 3381	En service
15	D3115 à D3118	Ballon mélange des huiles engrenagesruèti'(r	3382 à 3385	En service

19	D3119 à D3121	Ballon mélange d'huiles diverses	3386 à 3388	En service
----	---------------	----------------------------------	-------------	------------

22	D3122	Ballon de solvant	1521	En service
23	D3123	Fosse collecte des égouttures		En service
24	D3124	Ballon tampon air de service	1522	En service
25	D3125	Fosse collecte des égouttures		En service
26	D3126	Ballon récupération des condensats	7228	En service

Item	Repère	Désignation	N°série		Date de fabrication	Etat actuel
			Pompe	Moteur		
1	P3101	Pompe huile de base SPO	249/215	79-144483-01	-	En service
2	P3102	Pompe huile de base SAE10	249/215	79-144483-02	-	En service
3	P3103	Pompes de secours P3101/P3102	249/438	79-144483-03	-	En service
4	P3104 et P3105	Pompe huile de base SAE30	249/218	79-144480-02 et 79-144480-03	-	En service
6	P3106 A et P3106 B	Pompe huile de base BS	249/216	79-144480-04 et 79-144480-05	-	En service
8	P3107	Pompe secours P3104/5/6	249/225	79-144480-01	-	En service

9	P3108 A P3108 B P3109 A P3109 B P3110 P3111 P3112 P3113 P3114 P3115	Pompe transfert ADDITIFS	32300.001 32300.002 32300.003 32300.004 32300.005 32300.006 32300.007 32300.008 32300.009 32300.010	79-144638-01 79-144638-02 79-144638-03 79-144638-04 79-144639-01 79-144639-02 79-144639-03 79-144639-04 79-144639-04 79-144639-06	-	En service
19	P3116 P3117 P3118 P3119 P3120 P3121 P3122 P3123 P3124 P3125 P3126 P3127 P3128 P3129 P3130 P3131 P3132 P3133 P3134 P3135 P3136	Pompe transfert Ballons de pré mélange	- - - - - - - - - 700659p360 700659p360 3 700659p360 700659p360 700659p360 8 700659p360 5 700659p360 7 700654p360 4 700654p360 1 700654p360 700659p360 2 700659p360 6	79-144639-07 79-144639-06 79-144639-07 - 79-144639-09 - - - 80-144639-13 80-144711-01 80-144711-02 - 30-144211-04 80-144711-05 80-144711-06 - - 80-144711-09 80-144711-10 - 80_144711-12	-	En service
40	P3137	Pompe solvant à bas point d'éclair	-	79-144486-01	41870	En service
41 42 43	P3138A P3138B P3139	Pompe huile Moteur essence	300/255 300/255 305/265	80-145350-01 80-145330-02 80-145331-01	- 42213 42214	En service
44 45 46 47	P3140 P3141 P3142A P3142B	Pompe huile Moteur diesel	314/250 314/250 314/250 314/250	80-145332-01 79-144019-06 80-145332-03 80-145332-01	42215 42216 42217 42218	En service
48 49	P3143 P3144	Pompe huile transmission	305/255 249/246	80-145331-02 80-145333-01	42219 42220	En service

50 51	P3145 P3146	Pompe huile hydraulique	32726001-4 32726002-4	80-145950-01 80-144949-01	- -	En service
52	P3147	Pompe ballon d'égouttures	W309555F	806187527-01	-	En service
53 54	P3148 P3149	Pompe transfert Ballon de pré mélange vers conditionnement	700718P360 700718P360	80-144950-02 -	- -	En service

55	P3150	Pompe vidange ballon D3125	509- 778P3150	-	-	En service
56 57 61 62	P3151A P3151B P2602A P2602B	Pompe reprise des condensats	230 230 230/211 230/211	80-146024-01 80-146024-02 796144356-06 796144356-07	- - 41746 41747	En service
58 59 60	P2801A P2801B P2802	Pompe huile SPO/SAE10/SAE30	249/215 249/215 249/215	79-144353-02 79-144353-03 79-144352-01	- - -	En service

Item	Repère	Désignation	N°série		Date de fabrication	Etat actuel
			MX	Moteur		
1	MX3101	Agitateur du ballonD3101	T7037 MX3101	82/147365/01	-	En service
2	MX3102	Agitateur du ballonD3102	T7038 MX3102	80/144953/08	-	En service
3	MX103	Agitateur du ballonD3104	T7039 MX3103	80/144953/12	-	En service
4	MX3104	Agitateur du ballonD3104	T7040 MX3104	80/144953/14	-	En service
5	MX3105	Agitateur du ballonD3105	T7041 MX3105	80/144953/10	-	En service
6	MX3106	Agitateur du ballonD3106	T7042 MX3106	80/144953/07	-	En service
7	MX3107	Agitateur du ballonD3107	T7060 MX3107	80/144952/03	-	En service
8	MX3108	Agitateur du ballonD3108	T7061 MX3108	80/144952/02	-	En service
9	MX3109	Agitateur du ballonD3109	T7062 MX3109	80/144952/01	-	En service
10	MX3110	Agitateur du ballonD3110	T7063 MX3110	80/144951/03	-	En service

11	MX3111	Agitateur du ballonD3111	T7064 MX3111	80/144951/02	-	En service
12	MX3112	Agitateur du ballonD3112	T7043 MX3112	80/144953/01	-	En service
13	MX3113	Agitateur du ballonD3113	T7065 MX3113	80/14495	-	En service
14	MX3114	Agitateur du ballonD3114	T7044 MX3114	80/144953/09	-	Hors service
15	MX3115	Agitateur du ballonD3115	T7045 MX3115	80/144951/04	-	En service
16	MX3116	Agitateur du ballonD3116	188/489	020144726.1- 02.03001	-	En service
17	MX3117	Agitateur du ballonD3117	T7045 MX3117	80/144953/03	-	En service
18	MX3118	Agitateur du ballonD3118	T7046 MX3118	80/144953/05	-	En service
19	MX3119	Agitateur du ballonD3119	T7047 MX3119	80/144953/04	-	En service
20	MX3120	Agitateur du ballonD3120	T7048 MX3120	80/144954/13	-	En service
21	MX3121	Agitateur du ballonD3121	T7049 MX3121	80/144953/11	-	En service

Item	Repère	Désignation	N°série		Date de fabrication	Etat actuel
			MX	Moteur		
1	MX3122	Agitateur du TK3101	1200	80/130463/01	-	En service
2	MX3123 A	Agitateur du TK3102	1201	80/130463/03	-	En service
	MX3123 B	Agitateur du TK3102	1202	80/130463/02	-	
3	MX3124	Agitateur du TK3104	1203	80/130463/04	-	En service
4	MX3125	Agitateur du TK3104	1197	80/130462/06	-	En service
5	MX3126	Agitateur du TK3105	1198	80/130462/05	-	En service
6	MX3127	Agitateur du TK3106	1199	80/130462/07	-	En service
7	MX3128	Agitateur du TK3107	1188	80/130462/09	-	En service
8	MX3129	Agitateur du TK3108	1189	80/130462/12	-	En service

Tableau 1 : La liste des équipements au niveau de l'unité 3100 [15].