

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## Master

**Filière :** Hygiène et sécurité industrielle

**Spécialité :** Hygiène et sécurité industrielle

*Evaluation et classement des risques liés à  
l'endommagement d'un système Industriel par l'utilisation  
des Réseaux Bayésiens  
Application sur le bac de stockage S108 du RTE Skikda*

Soutenu le 24/06/2023

Réalisé par :

Encadré par : **Dr. Bilal ZEROUALI**

- **Akram ABDENNOURI**
- **Rami BOUMALI**

Année Universitaire 2022- 2023

# Remerciements

Nous tenons, tout d'abord, à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux de la force et la patience qu'il nous a donné pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions infiniment notre encadrant Dr. B. ZEROUALI pour l'honneur qu'il nous a fait en nous encourageant, nous orientant et en nous soutenant, ainsi qu'à sa patience envers nous tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Nous le remercions également pour ses conseils et sa confiance qu'il nous a constamment témoigné et qui ont été pour nous très motivants.

On exprime notre estime et nos remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit de leurs nombreuses autres obligations.

Nous souhaitons exprimer nos plus sincères remerciements au personnel de l'RTE Skikda sans exception, pour leur suivi au quotidien, pour leurs disponibilités et leurs conseils constructifs.

Et aussi on remercie nos amis Akram BOUGHAGHA et Manel AHMED SEID

Nous remercions aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin, On tient à exprimer toute notre reconnaissance et notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidé et ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Nous espérons que ce travail leur témoignera toute notre estime à leurs égards.

# Dédicace

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour,  
sincérité et fierté :

À ma chère mère, source de tendresse, de noblesse et  
d'affection, qui a joué un très grand rôle dans la réalisation  
de ce mémoire. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon  
respect, mon amour éternel et ma considération pour votre  
sacrifice pour mon éducation et mon bonheur. Je vous  
remercie pour le soutien et l'amour que vous m'avez donné.  
À mon très cher père qui a toujours été proche de moi, m'a  
soutenu, m'a encouragé et m'a orienté par ses précieux  
conseils. Puisse ce travail prouver le sacrifice constant que  
vous avez fait pour mon éducation et mon instruction.  
Je souhaite que votre bénédiction soit toujours avec moi.  
Que Dieu, le Très-Haut, vous accorde santé, bonheur et  
longue vie.

À tous mes amis qui m'encouragent toujours.

Aux membres de ma deuxième famille du Petroleum Club  
Skikda.

À la promotion de 2ème année Master Hygiène et Sécurité  
Industrielle 2022/2023

À mon binôme Rami pour son soutien moral, sa patience et  
sa compréhension tout au long de ce travail.

À la mémoire de mon défunt mes grands-parents, que Dieu  
garde leurs âmes dans son vaste paradis.

À tous les êtres chers dont leur soutien m'a été indispensable  
et qui attendent

Avec impatience ma réussite,

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

Merci à tous.

Akram ABDENNOURI

# Dédicace

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour,  
sincérité et fierté à :

Ma chère mère, Quoi que je fasse ou je dise je ne pourrai  
jamais te remercier suffisamment, ta bienveillance me guide  
et ta présence à mes coté tu as toujours été ma source de  
force ;

Mon cher père celui qui m'a toujours soutenu et qui m'a  
épaulé tout le long de mes études ;

À mon cher frère et ma chère sœur.

À tous les membres de ma famille maternelle et paternelle,  
spécialement ma tante.

À tous mes amis Sid ali et Djallel eddine qui m'encouragent  
toujours.

À ma deuxième famille l'équipe de CRMSKIKDA.

À mon binôme Akram pour son soutien moral, sa patience et  
sa compréhension tout au long de ce travail.

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

Merci à tous.

Rami BOUMALI

Le terminal arrivé de Skikda, fait partie de RTE (Région Transport Est) de l'activité TRC (Transport par Canalisation) du groupe SONATRACH. Le RTE est l'un des unités de procédés ou les scénarios les plus catastrophiques sont omniprésents, à cet effet le premier objectif de notre travail est l'analyse et la maîtrise du risque du système étudié : système détection extinction du bac de stockage S108.

Après la description fonctionnelle et structurelle de ce système, on a utilisé, premièrement, l'Arbre de Défaillance (AdD) pour déterminer les causes et construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à l'événement redouté central « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 », ensuite on a transféré l'AdD en Réseau Bayésien (RB) en utilisant le logiciel « AgenaRisk » pour modéliser et réaliser la structure du RB afin de calculer le pourcentage et la probabilité de l'événement sommet ainsi de déterminer les événements basiques les plus influents et aider à une prise de décision adéquate. Finalement, on a terminé ce travail par des recommandations dans le but de renforcer la sécurité et éviter les risques possibles.

**Mots clés :** Réseau Bayésien (RB), Bac de stockage, Arbre de Défaillance (AdD), AgenaRisk, Modéliser, Risque, Prise de décision.

The terminal arrived from Skikda, is part of RTE (Eastern Transport Region) of the TRC (Transport by Pipeline) activity of the SONATRACH group. The RTE is one of the process units where the most catastrophic scenarios are omnipresent, for this purpose the first objective of our work is the analysis and control of the risk of the system studied: extinction detection system of the storage tank S108.

After the functional and structural description of this system, we used, firstly, the Fault Tree (AdD) to determine the causes and build a synthesis of everything that can lead to the central dreaded event "the failure of the detection system extinction of storage tank S108", then the AdD was transferred to a Bayesian Network (BN) using the "AgenaRisk" software to model and create the structure of the BN in order to calculate the percentage and the probability of the peak event as well to determine the most influential basic events and to help in adequate decision-making. Finally, we ended this work with recommendations in order to reinforce security and avoid possible risks.

**Keywords:** Bayesian Network (BN), Storage tank, Fault Tree (AdD), AgenaRisk, Modeling, Risk, Decision Making.

محطة الوصول سكيكدة، وهي جزء من RTE "منطقة النقل الشرقية" من نشاط TRC النقل عن طريق الأنابيب لمجموعة SONATRACH. تعد RTE واحدة من الوحدات العملية حيث توجد أكثر السيناريوهات كارثية في كل مكان، ولهذا الغرض فإن الهدف الأول لعملائنا هو تحليل ومراقبة مخاطر النظام المدروس: نظام الكشف والإطفاء لخزان التخزين S108.

بعد الوصف الوظيفي والهيكل لهذا النظام، استخدمنا أولاً شجرة الأعطال AdD لتحديد الأسباب وبناء دراسة كل ما يمكن أن يؤدي إلى الحدث المركزي المخيف "فشل نظام الكشف والإطفاء لخزان التخزين S108"، ثم تم نقل شجرة الأعطاب إلى شبكة بايزن باستخدام برنامج « AgenaRisk » لنمذجة وإدراك بنية الشبكة من أجل حساب النسبة المئوية واحتمالية الحدث الرئيسي وبالتالي تحديد الأسباب الأساسية الأكثر تأثيراً وللمساعدة في اتخاذ القرار المناسب. أخيراً أنهينا هذا العمل بالتوصيات من أجل زيادة السلامة وتجنب المخاطر المحتملة.

**الكلمات المفتاحية:** شبكة بايزن، خزان التخزين، شجرة الأعطاب، برنامج « AgenaRisk »، نموذج، تحليل الأخطار، اتخاذ القرار.

<b>Remerciements .....</b>	<b>I</b>
<b>Dédicace.....</b>	<b>II</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>V</b>
<b>ملخص.....</b>	<b>VI</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>XI</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise</b>	
I.1 Introduction.....	03
I.2 Présentation générale de la société SONATRACH .....	03
I.2.1 Amont .....	03
I.2.2 Transport par canalisation .....	03
I.2.3 Aval.....	03
I.2.4 Commercialisation des hydrocarbures .....	03
I.3 Région de Transport Est (RTE) .....	04
I.4 Identification de l'unité.....	05
I.5 Implantation de l'unité .....	07
I.6 Activités industrielles.....	07
I.7 Constitution de la Région de Transport Est .....	08
I.8 Ports .....	10
I.8.1 Ancien port pétrolier .....	11

I.8.2 Nouveau port pétrolier .....	11
I.9 Réalisations de RTE.....	11
I.10 Structures de la RTE en relation avec les entreprises extérieures.....	14
I.11 Différentes entreprises extérieures effectuant des travaux au Terminal SKIKDA .....	14
I.11.1 Statistiques des accidents / incidents.....	16
I.11.2 Observations et commentaires .....	17
I.12 Conclusion .....	17

## **Chapitre II : Analyse des risques : Etat de l'art**

II.1. Introduction.....	18
II.2. Présentation d'analyse des risques.....	18
II.2.1. Définition de L'analyse des risques .....	18
II.2.2. Approches de l'analyse des risques .....	19
II.2.3. Importance de l'analyse de risque .....	21
II.3. Démarche de l'analyse des risques.....	22
II.3.1. Définition du système .....	22
II.3.2. Définition des objectifs de l'étude.....	22
II.3.3. Recueil des informations .....	22
II.3.4. Description fonctionnelle et technique du système .....	23
II.3.5. Description de l'environnement du système.....	23
II.4. Différentes méthodes d'analyse des risques.....	24
II.4.1. Analyse préliminaire des risques (APR).....	25
II.4.2. Analyse des modes de défaillances et de leurs effets et de leur criticité (AMDEC).....	25
II.4.3. Arbre des événements (ADE).....	26

II.4.4. Arbre de défaillances (AdD).....	27
II.4.4.1. Objectif de la méthode.....	27
II.4.4.2 Mise en œuvre de la méthode.....	27
II.4.4.3. Présentation graphique.....	28
II.4.4.4. Intérêts et limites.....	30
II.5. Conclusion.....	30

### **Chapitre III : Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle du système étudié**

III.1. Introduction.....	31
III.2. Description des Bacs de Stockage à Toit Flottant.....	31
III.2.1. Accessoires des Réservoirs.....	32
III.2.1.1. Accessoires d’Accès au Réservoir.....	32
III.2.1.2. Accessoires de sécurité.....	34
III.2.1.3. Drain d’Evacuation des Eaux de Pluviales du Toit.....	35
III.2.1.4. Accessoires de contrôle et d’entretien.....	37
III.3. Risques Existants au Niveau RTE.....	39
III.4. Identification des Barrières de Sécurités au Niveau RTE.....	43
III.4.1. Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau du Réservoir de Stockage.....	43
III.4.2. Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau de la pompe booster.....	46
III.4.3. Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau des USD (Unité Stockage et Dosage).....	47
III.4.4. Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau de la Cuvette de Rétention.....	48
III.5. Conclusion.....	49

**Chapitre IV : Etude de cas**

IV.1. Introduction .....	50
IV.2. Construction de l'AdD pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage .....	50
IV.3. Probabilités dans les réseaux bayésiens .....	57
IV.3.1. Théorème de Bayes .....	57
IV.3.2. Types de probabilités dans le modèle Bayésien.....	58
IV.4. Construction des réseaux bayésiens .....	59
IV.4.1. Identification des variables et de leurs espaces d'états .....	59
IV.4.2. Définition de la structure du réseau bayésien.....	60
IV.4.3. Loi de probabilité conjointe des variables.....	61
IV.5. Transformation de l'AdD en RB.....	62
IV.5.1. Transformation graphique .....	62
IV.5.2. Transformation quantitative .....	64
IV.6. Description du logiciel .....	65
IV.7. Structure du RB à partir de l'AdD .....	67
IV.8. Synthèse .....	70
IV.9. Simulation .....	71
IV.9.1 Interprétation .....	74
IV.9.2. Recommandations .....	75
IV.10. Conclusion .....	75
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>78</b>

**Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

<b>Figure I.1 :</b> Organigramme de SONATRACH.....	04
<b>Figure I.2 :</b> Situation géographique de RTE Skikda.....	05
<b>Figure I.3 :</b> Place de la RTE dans l'organigramme du SONATRACH.....	06
<b>Figure I.4 :</b> Vue aérienne du terminal RTE.....	06
<b>Figure I.5 :</b> Présenter les principales activités de RTE.....	07
<b>Figure I.6 :</b> Schéma du terminal arrivé avec réseau eau incendie.....	10
<b>Figure I.7:</b> Procès de transport des hydrocarbures liquides –terminal arrivé oléoduc-.....	12
<b>Figure I.8 :</b> Procès de transport des hydrocarbures gazeux –terminal arrivé gazoduc-.....	13
<b>Figure I.9 :</b> Organigramme de RTE.....	13

**Chapitre II : Analyse des risques : Etat de l'art**

<b>Figure II.1 :</b> Principales étapes d'une étude de SDF.....	18
<b>Figure II.2 :</b> Considération typique en choisissant le type d'analyse et la profondeur de l'étude.....	20
<b>Figure II.3 :</b> Différentes méthodes d'analyse des risques.....	24
<b>Figure II.4 :</b> Arbre des événements.....	26
<b>Figure II.5 :</b> Présentation graphique de la méthode Add.....	30

**Chapitre III : Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle du système étudié**

<b>FigureIII.1 :</b> Bac à Toi Flottant.....	32
<b>FigureIII.2 :</b> Cuvette de Rétention.....	33
<b>Figure III.3 :</b> Accessoires d'Accès au Réservoir.....	33
<b>Figure III.4 :</b> Exemple d'une soupape ouvert.....	34
<b>Figure III.5 :</b> Exemple d'Evacuation des Eaux Pluviales.....	35
<b>Figure III.6 :</b> Exemple de Circuit à Mousse.....	36
<b>Figure III.7 :</b> Joint d'étanchéité.....	37

**Figure III.8 :** Exemple d'un Trou d'Homme sur le Toit.....38

**Figure III.9 :** Exemple d'une Béquille.....38

**Figure III.10 :** Vannes de Réservoir.....39

**Figure III.11:** Boilover, accident de Skikda 2005.....41

**Figure III.12:** Photo d'une Unité après une Explosion.....43

**Chapitre IV : Etude de cas**

**Figure IV.1 :** Arbre de défaillance pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 ».....56

**Figure IV.2 :** Étapes de construction d'un réseau bayésien.....59

**Figure IV.3 :** Boucle dans un Réseau Bayésien.....61

**Figure IV.4 :** Organigramme représentant la transformation d'une AdD à un RB.....62

**Figure IV.5 :** Exemple d'une structure d'AdD.....63

**Figure IV.6 :** Réseau bayésien obtenu à partir de la figure IV.3.....64

**Figure IV.7:** Surface du logiciel AgenaRisk.....66

**Figure IV.8 :** Structure du Réseau Bayésien pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage ».....69

**Figure IV.9 :** Table de probabilité conditionnelle de « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 ».....70

**Figure IV.10 :** Pourcentages des probabilités pour N1, N2, N3.....71

**Figure IV.11 :** Une courbe graphique montrant la détérioration des probabilités sur 15ans.....72

<b>Tableau I.1</b> : Différents produits stockés au niveau du parc de stockage.....	09
<b>Tableau I.2</b> : Liste des entreprises effectuant des travaux à la RTE.....	15
<b>Tableau II.1</b> : Comparaison entre les méthodes d'évaluation des risques qualitatives et quantitatives.....	20
<b>Tableau II.2</b> : Symboles de la méthode AdD.....	28
<b>Tableau III.1</b> : Liste BTS bac de stockage.....	43
<b>Tableau III.2</b> : Liste BTS pompe booster.....	45
<b>Tableau III.3</b> : Liste des BTS au niveau des USD.....	47
<b>Tableau III.4</b> : Liste BTS cuvette de rétention.....	48
<b>Tableau IV.1</b> : Evénements de l'arbre de défaillance.....	57
<b>Tableau IV.2</b> : Table de probabilité conditionnelle de la porte logique « Ou ».....	65
<b>Tableau IV.3</b> : Table de probabilité conditionnelle du nœud pivot.....	65
<b>Tableau IV.4</b> : Probabilités d'occurrence des événements de base de l'AdD.....	67
<b>Tableau IV.5</b> : Les probabilités d'occurrence dans 15 ans.....	71
<b>Tableau IV.6</b> : Classification des événements basiques les plus influents dans «la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 ».....	73

## Liste des abréviations

**AdD** : Arbre de défaillance

**AdE** : Arbre des évènements

**AMDE** : L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets

**AMDEC** : Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités

**APR** : Analyses préliminaire des risques

**ATEX** : Atmosphère Explosif

**BRI** : Brut réduit industriel

**BRQ** : Bulletin de Reporting Quotidien

**BTS** : Barrières technique de sécurité.

**CP1K** : Complexe Pétrochimique Skikda 1

**DRGS** : Direction Régionale Skikda

**EB** : Evénement de base

**EDV** : Etude et Développement

**ENIP** : Entreprise Nationale de la Pétrochimie

**ER** : Evénement redouté

**FMEA** : Modes de défaillance et analyse des effets (Failure Modes and Effects Analysis)

**GK** : Gazoducs Skikda

**GNL** : Gaz naturel liquéfié

**GPL** : Gaz de pétrole liquéfié

**HAZID** : Identification des dangers (HAZARD IDENTIFICATION)

**HAZOP** : analyse de risques et de sécurité de fonctionnement ( HAZard and Operability analysis)

**HSE** : Hygiène, Sécurité, Environnement

**IA** : Intelligence Artificielle

**ITC** : Inducature Temperature Controler

## Liste des abréviations

**NK** : NetfaSkikda

**OK1** : Oléoduc Skikda 1

**QRA** : Evaluation quantitative des risques (Quantitative Risk Assessment)

**RA1K** : Raffinerie Skikda 1

**RB** : Réseau Bayésien

**RTE** : Région Transport Est

**SDF** : Sûreté de fonctionnement

**SIL** : Niveau d'intégrité de sécurité (Safety Integrity Level)

**SPM** : Suspended Particulate Matter

**TEP** : Tonne d'Equivalent Pétrole

**TRC** : TRansport par Canalisation

**UFIP** : Union Française des Industries Pétrolières

**USD** : Unité de stockage et de dosage

**UVCE** : Explosion d'un nuage de gaz en atmosphère libre (Unconfined Vapour Cloud Explosion)

# **Introduction générale**

Dans de nombreuses industries, les bacs de stockage jouent un rôle essentiel dans le stockage et la manipulation de substances dangereuses. La sécurité de ces bacs est donc d'une importance capitale pour éviter les incidents graves tels que les fuites, les explosions ou les incendies. Afin de garantir cette sécurité, il est essentiel de pouvoir évaluer et classer les risques liés à l'endommagement des systèmes de détection et d'extinction utilisés pour ces bacs de stockage.

Les réseaux bayésiens se révèlent être une approche prometteuse pour modéliser et évaluer les risques dans des systèmes complexes. Ils offrent la possibilité de prendre en compte les relations de dépendance entre différentes variables, ce qui est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'évaluer les risques associés à un système de détection et d'extinction d'un bac de stockage. En utilisant les réseaux bayésiens, il devient possible de quantifier les probabilités conditionnelles et d'estimer les niveaux de risque associés à chaque scénario d'endommagement.

L'objectif de ce mémoire est donc d'explorer l'utilisation des réseaux bayésiens dans l'évaluation et le classement des risques liés à l'endommagement d'un système de détection et d'extinction du bac de stockage S108 au niveau de RTE Skikda. Nous examinerons les différentes variables à prendre en compte dans l'évaluation des risques, telles que la fiabilité des capteurs, l'efficacité des systèmes d'extinction, les conditions environnementales et les conséquences potentielles de l'endommagement.

Nous mettrons en œuvre des méthodes d'analyse de risques basées sur les réseaux bayésiens, en utilisant des données historiques, des connaissances d'experts et des simulations pour estimer les probabilités conditionnelles. Nous développerons ensuite un modèle de classement des risques afin de hiérarchiser les scénarios d'endommagement en fonction de leur gravité potentielle.

En fin de compte, ce mémoire vise à fournir des recommandations pour améliorer la sécurité des systèmes de détection et d'extinction des bacs de stockage en identifiant les scénarios d'endommagement les plus critiques et en proposant des mesures d'atténuation appropriées.

Cette étude contient deux parties :

- La première partie revêt un caractère théorique, composée de trois chapitres :

**Chapitre I :** Présentation de l'entreprise

**Chapitre II :** Analyse des risques : Etat de l'art

**Chapitre III :** Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle du système étudié

- La deuxième partie revêt un caractère pratique et englobe un seul chapitre :

**Chapitre IV :** Etude de cas

Enfin, ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale synthétisant le travail réalisé et les perspectives envisagées.

# **Chapitre I :**

## **Présentation de l'entreprise**

## **I.1 Introduction**

Notre stage pratique a eu lieu au niveau de la Région Transport Est RTE de SKIKDA (DRGS). La variété des produits transportés et leurs natures (gaz, brut et condensat) font de cette entreprise un lieu de travail à haut risque.

RTE est l'une des activités SONATRACH donc elle est concernée par les différents changements apportés par SONATRACH.

## **I.2 Présentation générale de la société SONATRACH**

Issue de la nationalisation des hydrocarbures en 1971, l'entreprise publique algérienne SONATRACH a été créée pour exploiter et commercialiser les ressources en hydrocarbures du pays. Ses activités diversifiées touchent toute la chaîne de production : exploration, exploitation, transport, raffinage. Elle s'est diversifiée dans la pétrochimie et le dessalement d'eau de mer.

La Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures, SONATRACH, est la première entreprise d'Algérie et d'Afrique. SONATRACH emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales) et produit annuellement 232,3 millions de TEP (2005), dont 11,7 % (24 millions de TEP) pour le marché intérieur. Elle est le 12<sup>ème</sup> groupe pétrolier au niveau mondial, le 2<sup>ème</sup> exportateur de GNL et de GPL et le 3<sup>ème</sup> exportateur de gaz naturel.

Le groupe SONATRACH a divisé ses activités opérationnelles en 4 activités :

### **I.2.1 Amont**

Dans ce stade SONATRACH intervient dans l'exploration, le développement et la production des hydrocarbures et de leurs dérivés.

### **I.2.2 Transport par canalisation**

Après la production, SONATRACH assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole, brut, gaz naturel, GPL et condensat) vers les zones de nord (les raffineries) et dispose d'un réseau de canalisation (oléoducs et gazoducs).

### **I.2.3 Aval**

L'activité aval de groupe SONATRACH a en charge de disposer de la liquéfaction du gaz naturel, de la séparation de GPL, de raffinage du pétrole brut et de condensat.

### I.2.4 Commercialisation des hydrocarbures

SONATRACH commercialise ses produits sur le marché intérieur et extérieur directement et à travers des infrastructures, ouvrages et entreprises mises en place pour la distribution et la valorisation de ses produits. Deux activités nouvelles ont été ajoutés plus tard, il s'agit de :

- HSE et environnement.
- Sponsoring, mécénat et investissement social [1].

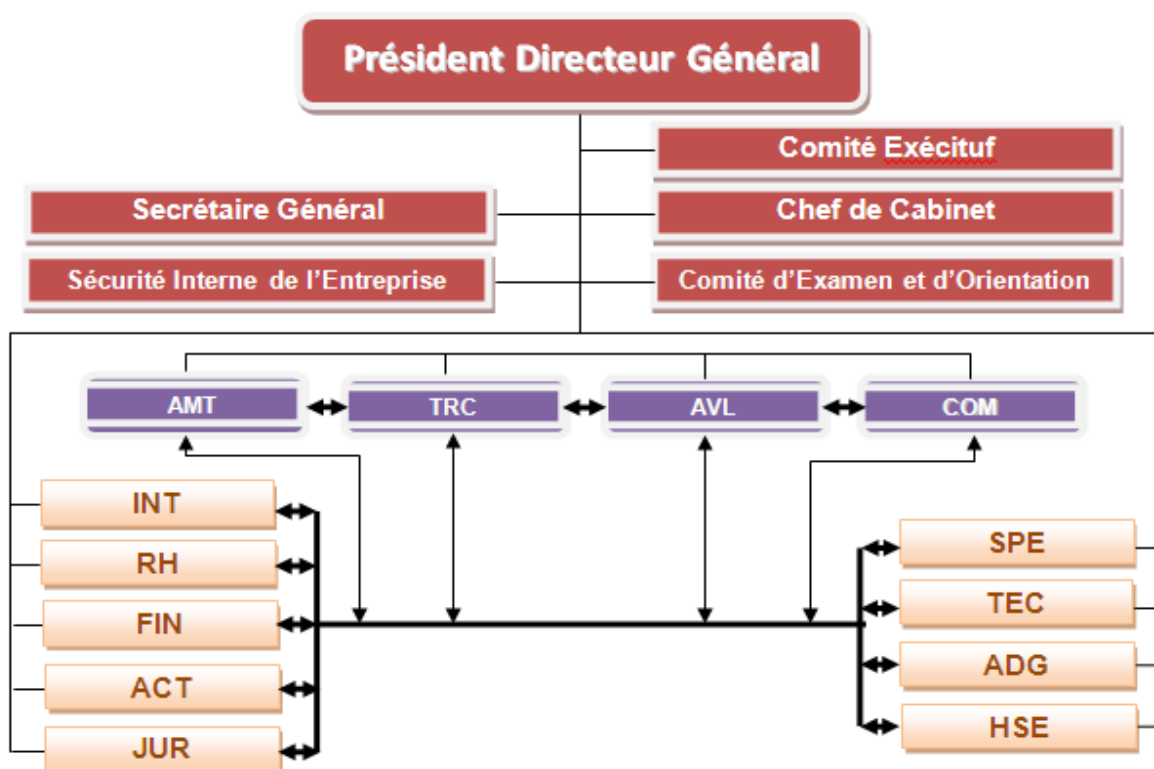


Figure I.1 : Organigramme de SONATRACH

### I.3 Région de Transport Est (RTE)

La Région de Transport est l'une des régions de transport dépendant de la Branche Transport par canalisation, d'hydrocarbures liquide et gazeux. Son siège est implanté dans la zone industrielle située à l'est de la ville de SKIKDA à proximité du village Hamouche –Ham oudi, sa superficie est de 103,5 hectares.

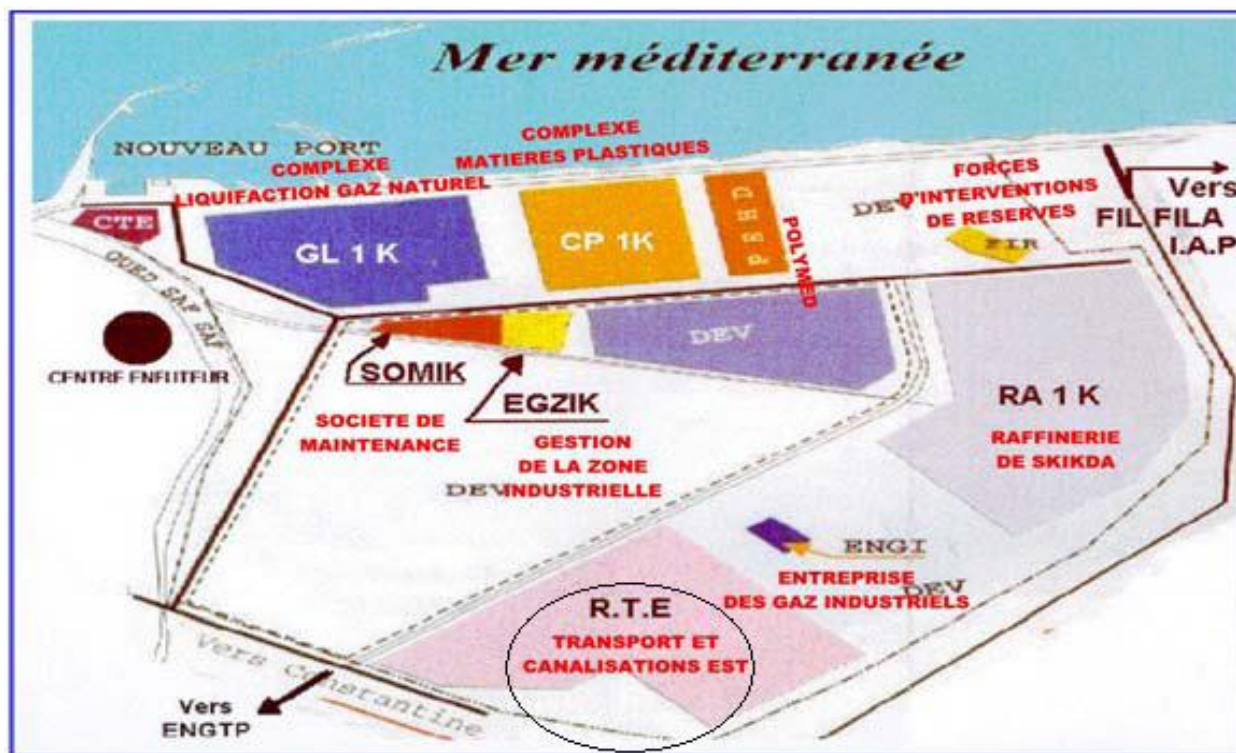


Figure I.2 : Situation géographique de RTE Skikda [1].

#### I.4 Identification de l'unité

Le terminal RTE (Région Transport Est) comporte 15 Bacs d'une capacité unitaire de 50000 m<sup>3</sup>, de pétrole brut en provenance de Haoud El Hamra par le pipeline 34, stocké puis expédié. Compte tenu de son classement dans la rubrique 1532 (liquides inflammables, stockage) le Terminal OK1 (Oléoduc Skikda n°1) est un établissement classé de première catégorie [2].

- Nom de l'unité : Direction Régionale Skikda (DRGS).
- Année de mise en exploitation : 1971
- L'unité est classée : au sens du décret exécutif 98- 339, relatif aux établissements classés dans la première catégorie, des installations soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement, ceci conformément à la nomenclature prévue à l'article premier du décret.
- La Direction comprend un effectif de 939 agents dont 364 cadres, 473 agents de maîtrise et 102 agents d'exécution hautement qualifiés [3].

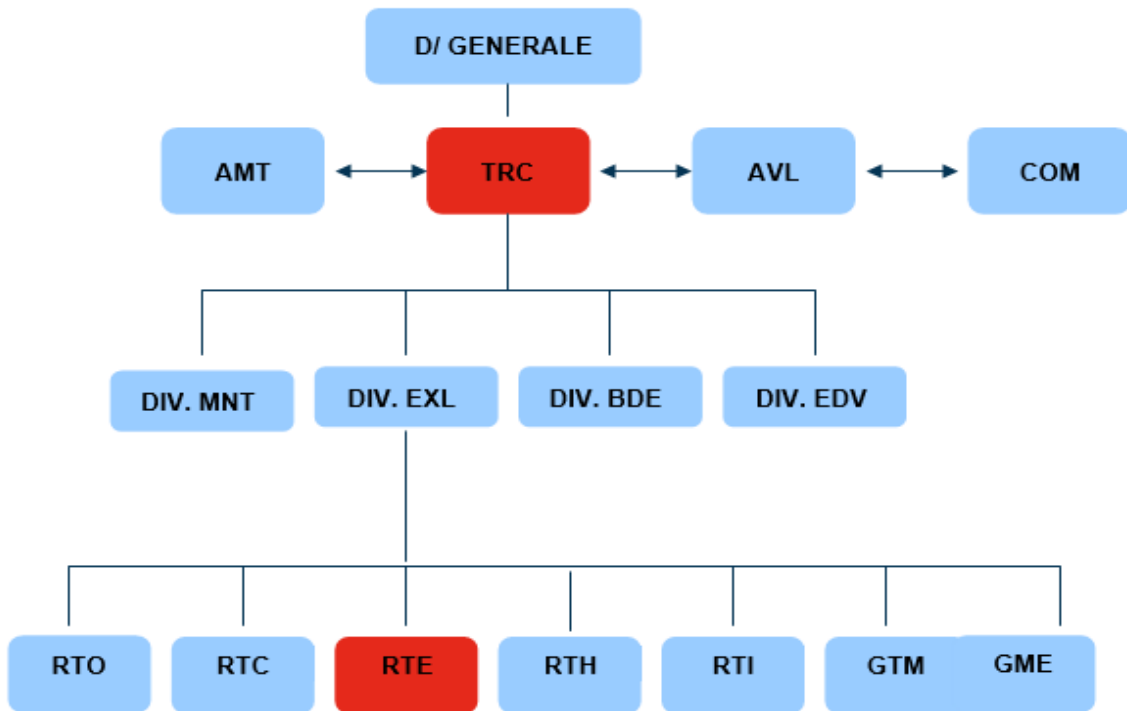


Figure I.3 : Place de la RTE dans l'organigramme du SONATRACH.



Figure I.4 : Vue aérienne du terminal RTE.

## I.5 Implantation de l'unité

- Localisation et délimitation : au sein de la zone industrielle de Skikda
  - Superficie : 110 Ha
  - Description du voisinage du site : l'unité est située au niveau de la zone industrielle de Skikda, formant son angle Sud –Est ; avoisinant :
    - ✓ De l'Est, la Direction Générale ENIP
    - ✓ De l'Ouest, la route nationale n°44
    - ✓ Du Sud, la commune Hamrouche Hammoudi
    - ✓ Du Nord, la zone industrielle de Skikda [3]

## I.6 Activités industrielles

- Activité principale : Transport des hydrocarbures liquide et gazeux par canalisation et stockage du pétrole brut.
- Activité secondaire : Entretien et maintenance des équipements.

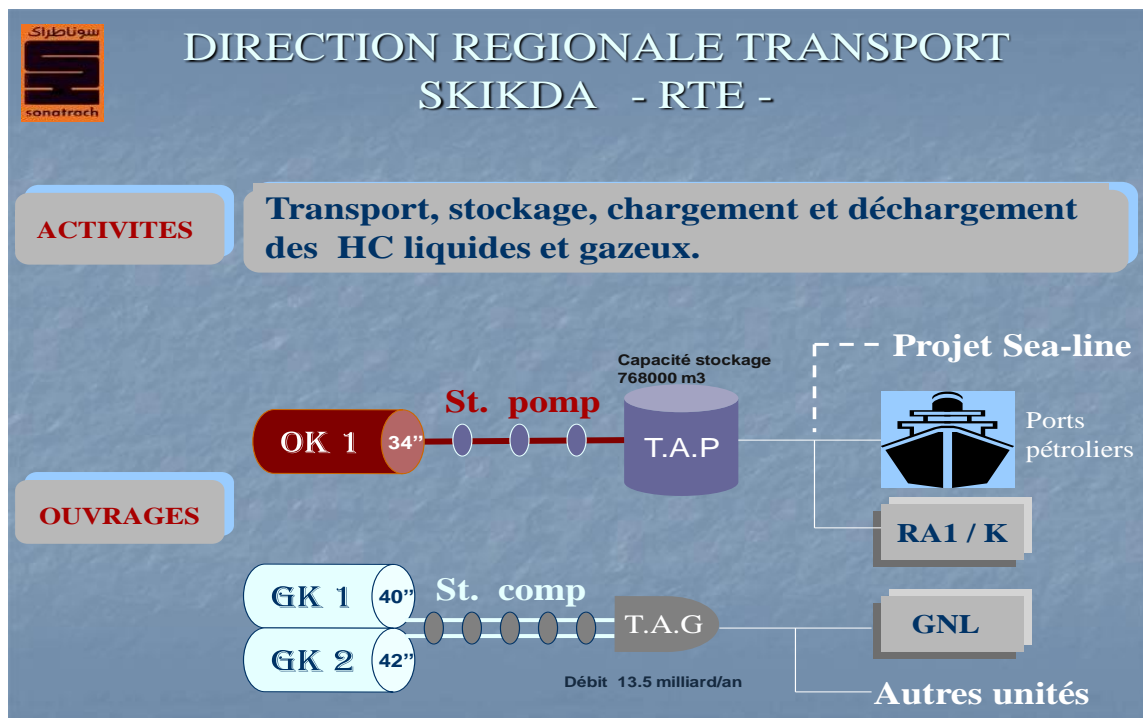


Figure I.5 : Présenter les principales activités de RTE [4]

La région de Skikda assure le transport du pétrole brut et gaz naturel respectivement en provenance de Haoud El Hamra et Hassi R'Mel et les acheminent vers les terminaux arrivées oléoduc et gazoduc à Skikda.

Le brut est envoyé par des turbopompes dans un oléoduc OK1 (34") depuis la région de Haoud El Hamra vers le terminal, en passant par des stations de pompage.

Une fois réceptionné et stocké dans des réservoirs de 51200 m<sup>3</sup> chacun, après une décantation de 24H à 48H, le contenu des bacs est expédié en grande partie (90%) vers la raffinerie et le port pétrolier de Skikda pour exportation.

Quant au gaz naturel, du centre national de dispatching gaz de Hassi R'mel via les gazoducs GK1 (40") (à l'arrêt suite au problème de corrosion) et GK2 (42"), est successivement comprimé dans des stations de compression. Reçu au terminal arrivée gaz, subira une filtration préliminaire dans une batterie de séparateurs (06) pour être ensuite dirigé vers les vannes de régulation de pression et rampes de comptage ; Les principaux clients sont l'unité de liquéfaction et fractionnement du gaz naturel et la centrale thermique, tous les deux situées à l'intérieur de la zone industrielle de Skikda [3].

### **I.7 Constitution de la Région de Transport Est**

La région transport Est comporte les ensembles suivants :

- 3 Stations de pompages (turbopompes).
- 5 Stations de compression (chacune : 04 turbocompresseurs GE MS 3002 /Cooper Bessemer).
- Terminal arrivée oléoduc 34" (OK 34).

Au niveau de ce terminal, le pétrole brut est réceptionné, stocké, transféré vers les installations portuaires ou livré au complexe de raffinage RA1K de Skikda.

- Terminal arrivée gaz naturel (GK 1 40" et GK 2 42").

Au niveau de ce terminal, le gaz naturel est réceptionné, il en est fait un comptage puis il est livré au complexe de raffinage RA1K de Skikda, à la centrale thermique ou au complexe CPIK.

- Parc de stockage du brut contenant 15 en exploitation et 03 en construction d'une capacité de 51200 m<sup>3</sup> chacun et une pompe booster pour chaque bac [3].
- Les pompes de chargement au nombre de 10.

- Installation d'expédition du brut vers les boues du sea-line contenant des filtres, motopompes et la robinetterie associées.
- La RTE dispose d'installations annexes telles que divers bâtiments administratifs, un magasin central. Une sous-station électrique, deux laboratoires pour les analyses chimiques, une infirmerie, une salle de conférences équipée pouvant contenir 260 personnes avec des salles attenantes. Tout comme elle dispose de deux parcs de stockage de matériel. D'une station de carburant et d'un terrain de sport [3].

**Tableau I.1** : Différents produits stockés au niveau du parc de stockage [5].

Nature	Conditions de stockage	Lieu de stockage	Dispositifs de sécurité
Pétrole brut	14 bacs toit flottant 51200 m <sup>3</sup>	Parc de stockage terminal terrestre	1 cuvette de rétention par bac (25 600 m <sup>3</sup> )  Halon 1211 en couronne (automatique / détection couronne du bac)  Réseau de mousse (5 couronnes sur un bac, 10 déversoirs, actionnement manuel par véhicule anti-incendie)  Moyens mobiles de refroidissement des bacs (canons répartis sur la zone de stockage)
Condensat	4 bacs 51200 m <sup>3</sup>	Parc de stockage terminal terrestre	
Eau de ballast et huiles récupérées	3 bacs 5000 m <sup>3</sup>	Station de déballastage de l'ancien port (hors	

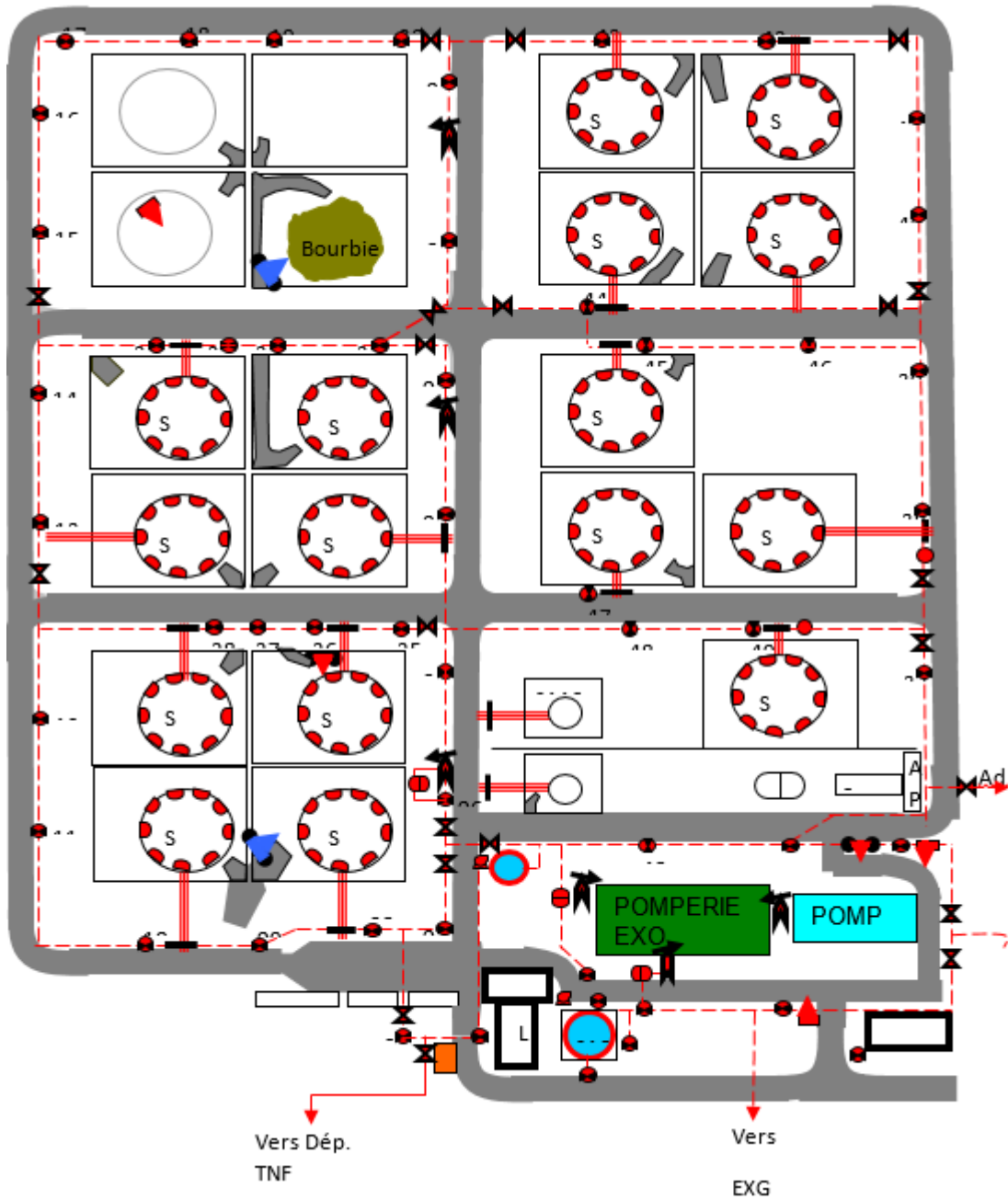


Figure I.6 : Schéma du terminal arrivé avec réseau eau incendie [5].

## I.8 Ports

- Les produits exportés sont du pétrole brut et des hydrocarbures raffinés (essence, naphtha, gasoil, fuel).
- Les produits importés sont du pétrole brut réduit industriel (BRI).

### **I.8.1 Ancien port pétrolier**

Au niveau de l'ancien port, les hydrocarbures liquides (raffinés) sont chargés et déchargés. L'ancien port se situe en dehors du périmètre de l'étude de dangers de la zone de Skikda [3].

### **I.8.2 Nouveau port pétrolier**

Au niveau du nouveau port, les hydrocarbures liquides (raffinés et bruts) sont chargés et déchargés. La RTE a été récemment dotée de deux bouées de chargement de pétrole brut en haute mer de type SPM qui permettent les accostages de tanker de gros tonnage, ce qui augmente considérablement les capacités d'exportation de RTE et diminue le temps de chargement. En plus de ses responsabilités en tant que livreur de produits liquides, la RTE transporte environ 12 millions de m<sup>3</sup> de gaz par an pour approvisionner ses clients. La région a vécu un développement et un essor phénoménaux [3].

### **I.9 Réalisations de RTE**

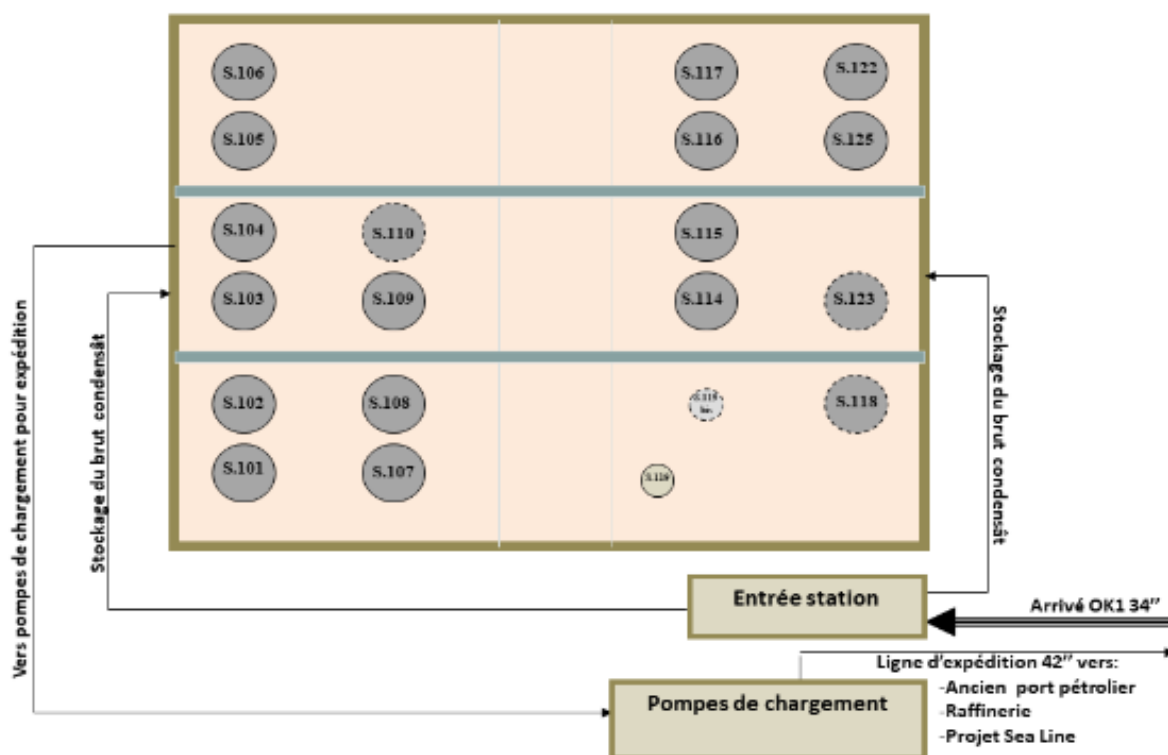
Dans le cadre du développement de la Direction Régionale de Skikda, des actions d'envergure ont été initiées. Ces dernières ont pour but d'augmenter les capacités de transport et de stockage ainsi que l'amélioration de la souplesse de l'exploitation. Parmi ces actions, nous citerons, la rénovation et la modernisation de tous les systèmes de contrôle/commande des stations de compression.

Cinq nouveaux réservoirs sont en cours de construction dont deux sont pratiquement achevés. Ils contribueront à augmenter les capacités de stockage en pétrole brut et en condensât. D'autres projets d'importance cardinale ont été initiés par l'Activité, en l'occurrence l'édification de dix-sept bacs de stockage. Ce projet qui est en cours de maturation augmentera sensiblement les capacités de stockage de TRC. L'Est bénéficiera, également, d'un nouveau projet. Il s'agit du gazoduc GK3.II alimentera le futur méga train du complexe GL1K, le futur gazoduc Galsi reliant l'Algérie à l'Italie ainsi que les villes de l'Est algérien. L'oléoduc NK1 est un autre projet en cours de réalisation. Destiné à alimenter le futur Topping condensât de Skikda, il transportera du condensât depuis Hassi Messaoud et In Amenas [3].

1971 – 2008 : 36 ans de réalisations

- 1971 : Mise en service du gazoduc GKI-40" (ligne nue).
- 1972 : Mise en service de l'oléoduc OK 1/34" (ligne, stations SPI et SP3, Terminal Arrivée)

- 1976 : Mise en service des stations de compression SCB et SCD du gazoduc GKI (phase 2).
- 1978 : Mise en service des stations de compression SCA, SCC et SCE du gazoduc GKI (phase 3).
- 1980 : Mise en service du nouveau port pétrolier de Skikda.
- 1988 : Mise en service de la station de pompage SP4 à Boumegueur sur l'oléoduc OKI/34".
- 1998 : Mise en service de la station de pompage SP2 à Djemaa sur l'oléoduc OKI/34".
- 2001 : Mise en service du gazoduc GK2/42" reliant Hassi R'mel à Skikda.
- 2005 : Mise en service de la station SP3 Bis sur l'oléoduc OKI-34".
- 2006 : Mise en service des postes de chargement en mer SPMI & SPM2.



**Figure I.7:** Procès de transport des hydrocarbures liquides –terminal arrivé oléoduc-

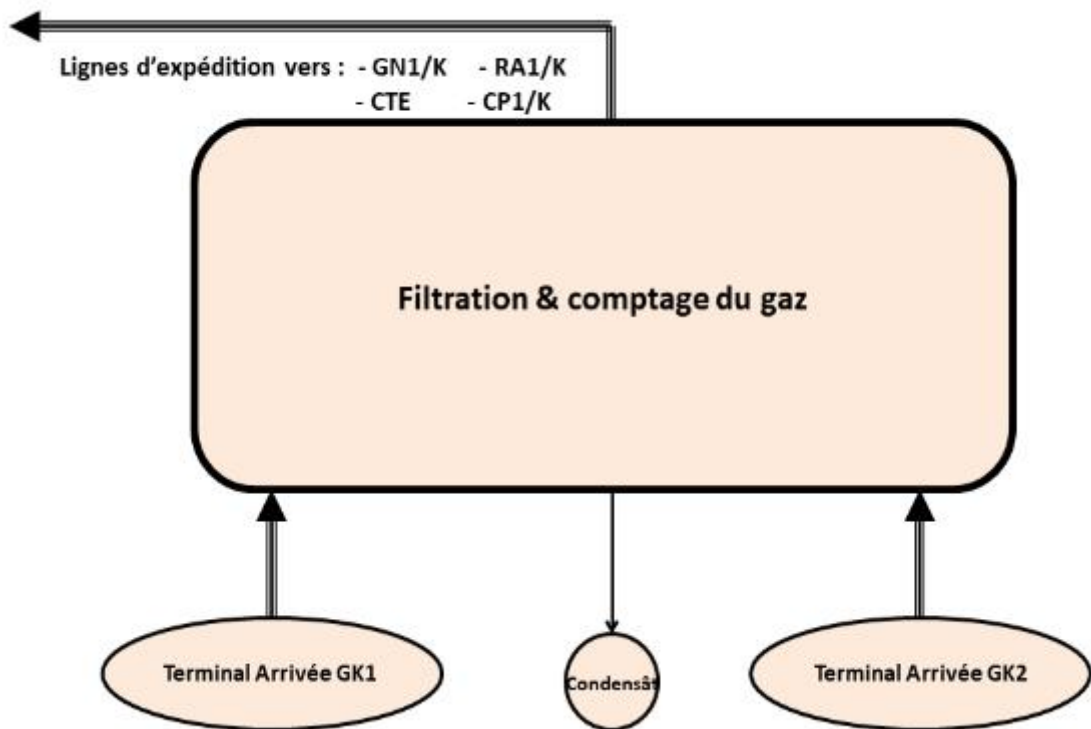


Figure I.8 : Procès de transport des hydrocarbures gazeux –terminal arrivé gazoduc-

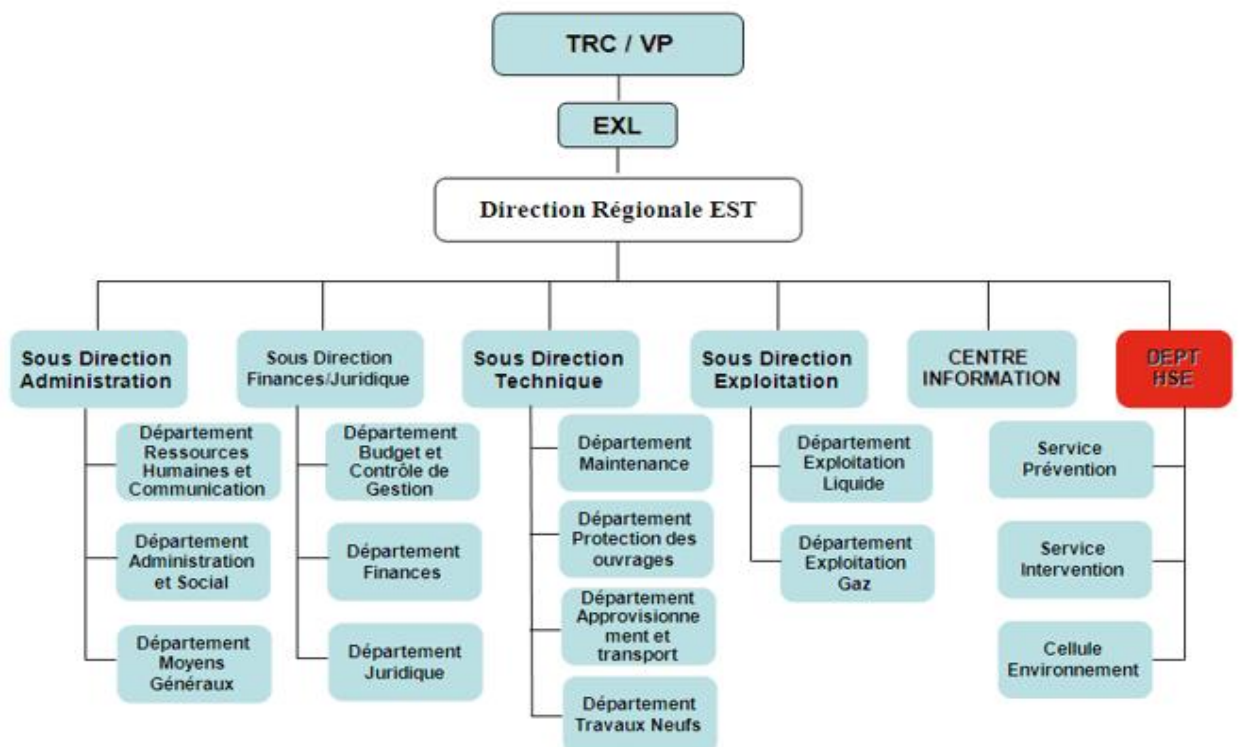


Figure I.9 : Organigramme de RTE

## I.10 Structures de la RTE en relation avec les entreprises extérieures

Dans le cadre de notre étude, nous avons visité les différentes structures qui sont en relation directe avec les entreprises extérieures. Il s'agit en l'occurrence de :

- **Sous-direction exploitation** : qui assure l'exploitation au niveau des terminaux arrivés **liquides et gaz** (dont il y a plusieurs chantiers de réalisation à l'intérieur du parc) ; et les stations de pompes et de compressions
- **Département Travaux Neufs** : c'est la structure qui assure le suivi de tous les nouveaux projets de la région.
- **Département Protection des ouvrages** : c'est la structure qui assure l'intervention sur la ligne en cas d'incident et elle prend en charge tout rénovation et réhabilitation des équipements.
- **Département maintenance** : le suivi des opérations effectuées par les entreprises tiers en matière d'entretien
- **Département juridique** : c'est la structure qui traite les cahiers de charge et les contrats des travaux.

- **Département Moyens Généraux**

Il se compose de trois services : Intendance, intérieure et Entretien Bâtiments.

Le département a la tâche d'assurer la restauration du personnel, la dotation du mobilier et matériel de bureau des différents services de la Direction ainsi que les stations, l'accueil des délégations étrangères, de la prise en charge et des réservations des billets pour les missionnaires, l'organisation des festivités diverses (remises des médailles...), et le nettoyage des locaux.

Pour répondre aux différentes tâches l'unité a décidé de faire appel à la sous-traitance, par conséquent la cantine, le transport et l'entretien sont prises en charge par des prestataires.

Les cadres du département élaborent les cahiers de charges ainsi que la supervision des travaux effectués par les sous-traitants, leurs avancements et leurs conformités [3].

## I.11 Différentes entreprises extérieures effectuant des travaux au Terminal SKIKDA

Au cours de ces deux dernières années la direction régionale Est a lancé plusieurs projets dont l'ampleur est considérable, par conséquent elle a fait appel à des entreprises extérieures,

nationale et internationale, pour la réalisation de ces travaux ; ces derniers ont fait appelle aussi à des sous-traitants pour effectuer quelques parties des projets fixés par les cahiers des charges.

Les principaux projets en cours de réalisation au niveau de la direction de transport Est sont :

- Réalisation du terminal arrivé et de la station condensat NK1, projet effectué par l'entreprise ABB/SARPI (une association entre Sonatrach et l'italien ABB).
- Réalisation de la ligne de condensat NK1; projet effectué par l'entreprise Egyptienne PETROJET.
- Réalisation du système de télésurveillance STS ; projet effectué par l'entreprise CEGELEC.
- Le raccordement du nouveau pipe RGK1 ; projet effectué par l'entreprise russe STROY TRANS GAZ.

Suite à l'envergure de ces projets ; les risques qui présentent sont considérable, de plus la plupart des travaux s'effectue à l'intérieure du parc de stockage (à haut risque); donc un simple incident causé par la négligence ou l'ignorance des travailleurs peut mener à des conséquences très graves.

La liste des entreprises effectuant des travaux au sein du terminal arrivé et au siège de la direction régionale du transport est la suivante [3] :

**Tableau I.2 :** Liste des entreprises effectuant des travaux à la RTE

<b>Entreprises</b>	<b>Nature des Travaux</b>	<b>Nombre du personnel</b>
ABB / SARPI / GTP	Projet NK1 (station)	385
PONTICELLI / KENZA	Réalisation du réseau de refroidissement à mousse (Terminal + Stations)	171
EQUITRA	Réalisation d'un bassin de stockage des boues (bourbier)	63
SOMIZ SPA / SAMI	Réhabilitation du bac S107	34
ENTREPOSE	Reconstruction des bacs S105/S106	31
GCCI	Sous-traitant d'ENTREPOSE	21

BINAMA Sarl	Réalisation du nouveau local sécurité avec les installations anti incendie	13
Entreprise Tadjine	Sous-traitant CEGELEC	13
ENCC	Construction du bac S110	05
CEGELEC	Système de télésurveillance STS	75
PETROJET	Réalisation de la ligne de condensat NK1	NC
Stroy Trans Gaz	Réalisation du pipe RGK1	NC
EVOLUTECH	Sous-traitant CEGELEC	NC
CPECC (Chine)	Projet Topping Condensat	NC
GENITECH	Convention de maintenance des équipements de froid	A la demande

NC : non communiquée.

**Remarque** : pour les cinq dernières entreprises, le nombre de personnes se trouvant au site est fluctuant selon la demande pour certaines et non communiquée pour d'autres

Chaque entreprise est supervisée par la structure qui correspond à son projet, sauf les projets à échelle nationale (comme le projet de système de télésurveillance STS réalisé par CEGELEC) sont suivis directement par la division Etude et Développement (EDV) située au siège TRC.

### I.11.1 Statistiques des accidents / incidents

Les statistiques des accidents / incidents causés par les entreprises extérieures ne sont pas mentionnées dans les rapports annuels, seulement les BRQ (Bulletin de Reporting Quotidien) contient des informations sur les accidents de ces entreprises, de plus, on ne mentionne généralement que les accidents graves et visuels.

La source qui déclare les accidents, dans la plupart des cas, est les superviseurs et les agents de SONATRACH (souvent Les responsables et les agents des entreprises extérieures ne déclarent pas les accidents, par peur de sanction ou par peur de subir des pénalités empêchant, d'après eux, l'avancement de leurs projets).

Dans l'année 2007 il n'était mentionné que 7 accidents de travail des agents des EE, (étouffements, malaises, plaies, contusion de la jambe et des points de suture) avec un nombre des journées perdues égal à 48.

Pour la direction Régionale Est-il y'avait 24 accidents avec 6458 journées perdues (un décès équivalent à 6000 journées perdues).

La majorité des accidents / incidents sont causés par les agents de sécurité interne DSP (chutes, efforts excessifs ou faux mouvements, lésions, exposition ou contact avec la température) [3].

### **I.11.2 Observations et commentaires :**

- Le RTE est une zone à haut risque, dont les projets en cours sont considérables, il faut donc un système de gestion fiable et rigoureux pour la bonne marche de tous les travaux.
- Suite aux multiplicités des travaux sur les sites RTE, l'entreprise doit assurer une bonne coordination entre les différentes entreprises et bien gérer la Co activité.
- Le grand nombre des ouvriers à l'intérieur du terminal arrivé rend la supervision HSE très difficile.

Tous ces points nécessitent une gestion organisée et efficace des travaux sur les sites RTE, ainsi nous allons proposer dans les chapitres suivant un système de management des entreprises extérieures [3].

### **I.12 Conclusion :**

Ce chapitre nous a permet de connaitre l'état des lieux du terminal de Skikda ainsi que la description générale des différentes installations et les divergentes entreprises extérieures effectuant des travaux au Terminal SKIKDA.

# **Chapitre II :**

## **Analyse des risques : Etat de l'art**

## II.1 Introduction

Dans les événements indésirables (cas des incidents ou accidents) qui peuvent atteindre les entreprises et provoquent des dégâts majeurs doivent être analysés d'une manière aussi fine que possible, afin de donner une chronologie exacte de leurs déroulements, les méthodes d'analyses de la sûreté de fonctionnement constituent un atout appréciable dans toutes les études de danger.

## II.2 Présentation d'analyse des risques

L'étude de sécurité est un domaine très vaste, et parmi ses étapes on trouve l'analyse des risques qui est le but de notre étude.

### II.2.1 Définition de L'analyse des risques

C'est 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.

Dans une étude de SDF on distingue plusieurs étapes, on peut les résumer en trois principales étapes.

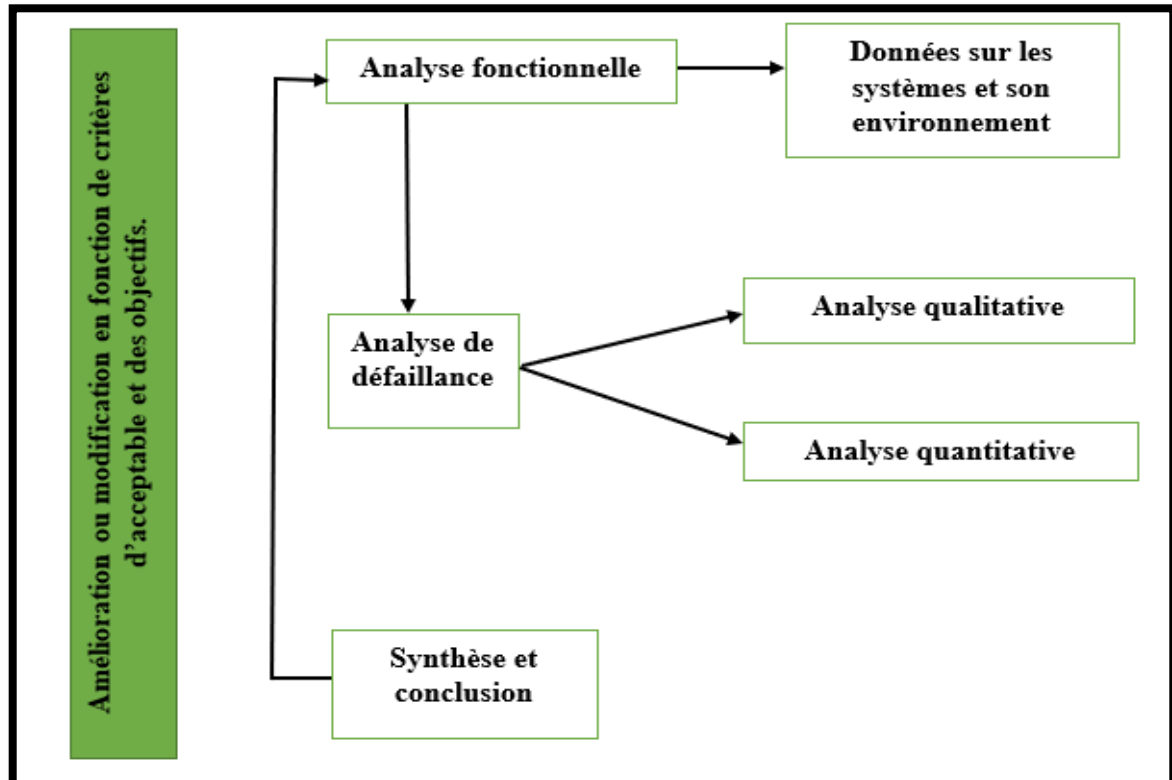


Figure II.1 Principales étapes d'une étude de SDF [6].

## II.2.2 Approches de l'analyse des risques

Risque d'inspection basée exige d'entreprendre une analyse de risque pour les systèmes et l'équipement d'étude. La forme de cette analyse peut changer considérablement, selon des circonstances, s'étendant des approches qualitatives descriptives aux approches quantitatives numériques. Cependant, dans toutes les approches, l'analyse de risque devrait contenir les étapes suivantes :

- Identification des mécanismes potentiels de détérioration et modes d'échec ;
- Évaluation de la probabilité de l'échec de chaque mécanisme ;
- Identification des scénarios d'accidents comportant l'échec de l'équipement ;
- Évaluation des conséquences résultant de l'échec d'équipement ;
- Détermination des risques de l'échec d'équipement ;
- Rang et catégorisation de risque.

Nous pouvons observer trois approches pour l'analyse des risques.

- Qualitative.
- Semi quantitative.
- Quantitative.

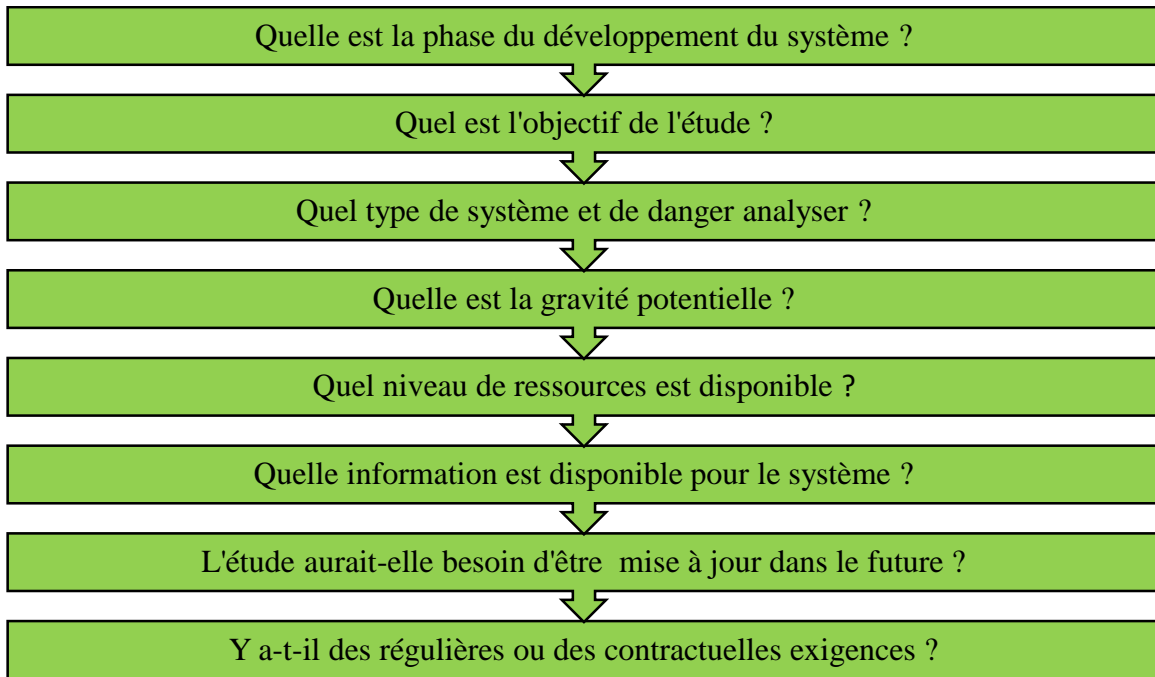
### ➤ **Analyses qualitatives**

Cette analyse consiste à qualifier certains paramètres de la sûreté de fonctionnement d'un système précédemment étudié.

Lors de cette étape on définit clairement l'objectif de l'étude et on précise les limites de résolution de l'analyse [6].

### ➤ **Analyses Semi quantitatives**

Des catégories d'entrée sont combinées numériquement où obtenir schématiquement une valeur (pseudo-quantitative) numérique du risque. Ces valeurs sont souvent alors réunies dans les catégories qui sont définies qualitativement [6].



**Figure II.2** Considération typique en choisissant le type d'analyse et la profondeur de l'étude [7].

➤ **Analyses quantitatives**

L'analyse quantitative permet de quantifier les paramètres de la sûreté de fonctionnement du système étudié. Il en résulte donc que l'analyse de défaillance a de nombreux objectifs, à titre d'exemple on cite la probabilité d'occurrence d'un évènement donné, le bon fonctionnement d'un système pendant une durée donnée... [7].

➤ **La comparaison entre les approches quantitatives et qualitatives** **Tableau II.1.**

**Tableau II.1** Comparaison entre les méthodes d'évaluation des risques qualitatives et quantitatives [7].

<b>Approche quantitative</b>	<b>Approche qualitative</b>
Fréquence numérique d'un évènement non désiré	Evaluation non numérique
Dépendant de l'exactitude des données statique	Dépendant du jugement et de l'expérience
Nécessite un travail intensif et par conséquent plus coûteux	Consomme moins de temps
Objective mais dépendant des fois du jugement	Dépendant du jugement, peut être subjective

➤ **Synthèse et conclusions**

La synthèse de l'analyse qualitative et quantitative mettra en évidence les défaillances et leurs combinaisons qui compromettent le fonctionnement du système ainsi que les composants les plus critiques ou les missions les plus importantes du système [7].

Les conclusions permettent de proposer des solutions au vu de l'analyse précédente telle que :

- Une amélioration de la fiabilité de composants ;
- Une modification des redondances ;
- Une redondance supplémentaire peut être faite ;
- Une élimination de redondances inutiles ;
- Une adjonction de protection ou de dispositif de surveillance ou de contrôle ;
- Une protection supplémentaire contre des défauts de cause commune ;
- Une modification des caractéristiques des tests périodiques ou de la maintenance ;
- Une maintenance préventive sur certains composants ;
- Des essais périodiques supplémentaires de certains composants.

### **II.2.3 Importance de l'analyse de risque**

L'analyse des risques permet de tenir compte du contexte particulier de l'installation

Étudiée en considérant notamment :

- Les conditions particulières d'exploitation : phase normale ou transitoire (arrêt, démarrage) ;
  - L'environnement immédiat de l'installation considéré (possibilité de synergies d'accidents ou d'effets dominos.) ;
  - L'environnement général du site (cibles potentielles d'un accident majeur, agressions externes...)
- [7].

## **II.3 Démarche de l'analyse des risques**

### **II.3.1 Définition du système**

L'analyse des risques est un travail qui peut s'avérer complexe et mobiliser des ressources importantes. Dès lors, il est indispensable d'identifier clairement le système à étudier et de déterminer sans ambiguïtés les limites de l'étude.

Il peut par exemple s'agir d'étudier les risques associés à une nouvelle installation devant être implantée, d'identifier les risques associés à la modification d'un procédé existant ou de passer en revue les risques à l'échelle d'un site industriel complet.

Cette définition permet notamment de limiter la description du système aux informations nécessaires et suffisantes au champ de l'étude [8].

### **II.3.2 Définition des objectifs de l'étude**

La définition des objectifs de l'analyse des risques est une étape essentielle qui permet notamment de définir les critères d'acceptabilité des risques.

Il peut par exemple être nécessaire de mener une analyse des risques dans l'un des buts particuliers suivants :

- Analyser les risques d'accidents de manière générale et les événements pouvant nuire à la bonne marche du procédé (pannes, incidents...) ;
- Analyser plus spécifiquement les risques aux postes de travail (Code du travail) ;
- Analyser les risques d'accidents majeurs (cas de l'étude des dangers) ;
- Selon les objectifs pour suivis, la démarche et les outils utilisés pourront être significativement différents [8].

### **II.3.3 Recueil des informations**

Le recueil des informations nécessaires à l'analyse des risques est probablement une des phases les plus longues du processus mais également une des plus importantes.

Avant de mettre en œuvre la démarche d'analyse des risques, il est généralement nécessaire de respecter les étapes suivantes :

- Description fonctionnelle et technique du système ;
- Description de son environnement ;

- Identification des potentiels de dangers internes et externes ;
- Analyse des incidents/accidents passés ;

### **II.3.4 Description fonctionnelle et technique du système**

La description fonctionnelle vise notamment à collecter l'ensemble des informations indispensables pour mener l'analyse, de manière très générale, il s'agit de traiter les points

Suivants :

- Identifier les fonctions du système étudié ;
- Caractériser la structure du système ;
- Définir les conditions de fonctionnement du système ;
- Décrire les conditions d'exploitation du système.

### **II.3.5 Description de l'environnement du système**

La description de l'environnement du système est importante à double titre :

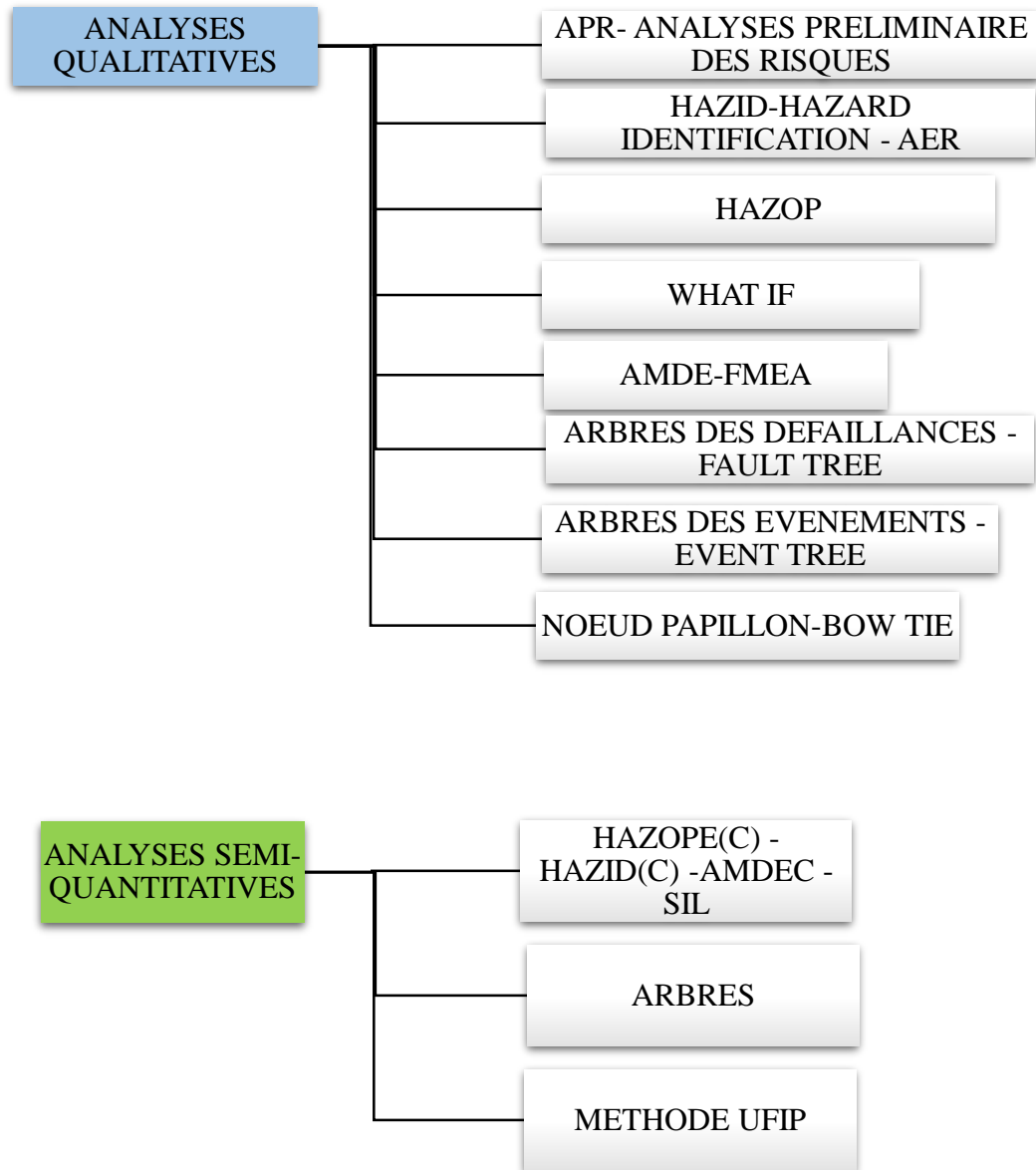
- L'environnement peut être une source d'agressions pour le système ;
- L'environnement constitue généralement une cible pouvant être affectée en cas d'accident ;
- Cibles présentes dans l'environnement ;

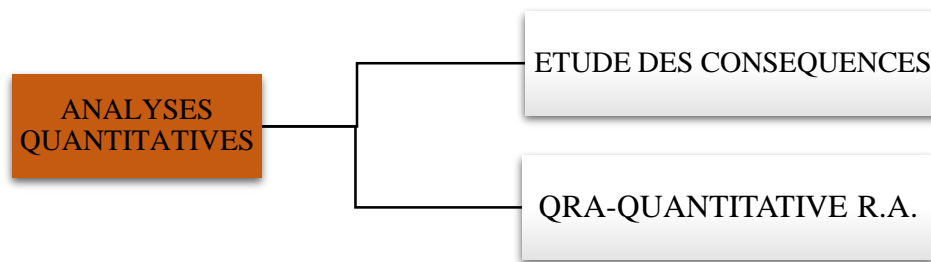
Afin d'apprécier la gravité d'un accident ou incident potentiel, il est indispensable de bien identifier les éléments de l'environnement qui pourraient être gravement affectés. En règle générale, il convient de repérer les cibles suivantes :

- Les personnes (personnel du site concerné, populations habitant ou travaillant autour de sites industriels) ;
- Les installations et équipements pouvant être à l'origine d'accidents (équipements Dangereux) ;
- Certains équipements indispensables pour maintenir le niveau de sécurité des installations (équipements de sécurité critiques comme une salle de contrôle, un local pomperiez incendie, un réseau torche...)
- Les biens et les structures dans l'environnement des installations ;
- L'environnement naturel (nappes phréatiques, cours d'eau, sols...)
- D'autres parties des installations, en fonction des objectifs particuliers de l'analyse des risques.

## II.4 Différentes méthodes d'analyse des risques

Il existe un grand nombre d'outils dédiés à l'identification et l'évaluation des risques associés à un procédé ou une installation.





**Figure II.3.** Différentes méthodes d'analyse des risques [8].

#### **II.4.1 Analyse préliminaire des risques (APR)**

L'APR est un outil à caractère qualitatif utilisé et appliqué jusqu'à l'heure actuelle dans de nombreuses industries pour connaître et évaluer les différents éléments et situations dangereuses dans un système ou installation en phase de conception [8].

Les étapes de cette méthode peuvent être résumées comme suit :

- D'identifier et de lister les éléments du système et les événements pouvant conduire à des situations dangereuses et des accidents :
- D'évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et aux accidents potentiels ;
- Prévoir toutes les mesures préventives permettant de maîtriser ou d'éliminer les situations dangereuses et les événements causant les accidents potentiels.

#### **II.4.2 Analyse des modes de défaillances et de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)**

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production [8].

Elle a pour objectifs :

- Rechercher, classifier les défaillances pouvant conduire à un événement indésirable ;
- Contrôler les défaillances critiques au moyen d'actions correctives.

- Les étapes de cette méthode sont les suivantes ;
  - Définir le système ;
  - Découpage du système en sous-systèmes, assemblage, composant, etc. ;
  - Définir les modes de défaillance ;
  - Cause des défaillances sous l'angle de fonction et défaillances de performances ;
  - Effets des défaillances locaux et sur le système ;
  - Compensations/ détection ;
  - Gravité/probabilité/criticité (niveau de risque) ;
  - Actions correctives.

### 11.4.3 Arbre des événements (ADE)

L'ADE est une méthode déductive qui permet de rechercher les scénarios possibles d'évolution en événements accidentels à partir d'un événement indésirable, d'estimer les probabilités d'occurrence de chacun des scénarios, d'identifier le positionnement de barrières de sécurité (de défense) pour diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté et aussi pour limiter leurs effets qui peuvent conduire à des conséquences catastrophiques [9].

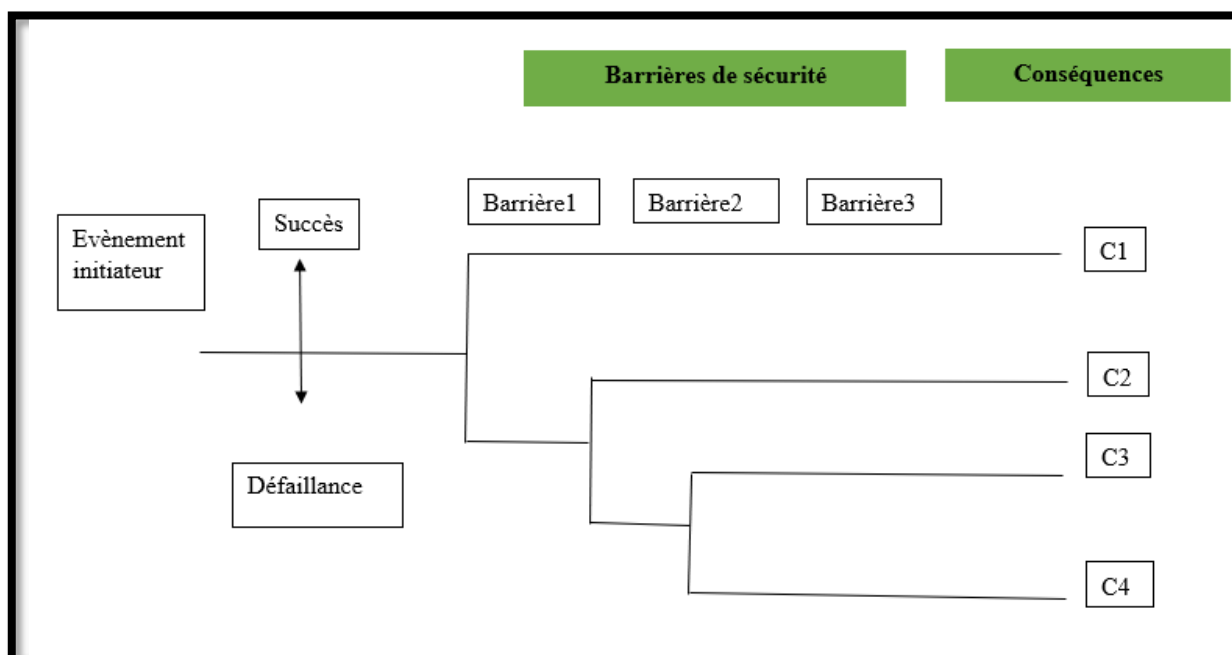


Figure II.4. Arbre des Evénements [9].

La probabilité d'occurrence de l'événement initiateur par celles des barrières de sécurité existantes et pouvant empêcher le scénario d'accident [9].

#### II.4.4 Arbre de défaillances (Add)

Historiquement, l'analyse par Arbre de Défaillances a été la première méthode développée pour l'examen systématique des risques. Il a été développé dans les bureaux de la société BELL Téléphone au début des années 1960 et a été testé pour évaluer la sécurité des systèmes de lancement de missiles. [10].

Un Arbre de Défaillances (aussi appelé arbre de pannes ou arbre de fautes) est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques (un système statique est un système dont la défaillance ne dépend pas de l'ordre de défaillance de ses composants). Cette méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini. Une telle représentation graphique met donc en évidence les relations de cause à effet. Cette technique est complétée par un traitement mathématique qui permet la combinaison de défaillances simples ainsi que de leur probabilité d'apparition. Elle permet ainsi de quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable, également appelé « événement redouté » [11].

##### II.4.4.1 Objectif de la méthode

- À partir d'un événement final indésirable, rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou des défaillances qui peuvent y conduire ;
- La représentation graphique des connections entre les événements. Remarquons qu'il existe une représentation de la logique de défaillance du système pour chaque E.R. Ce qui implique qu'il y aura autant d'arbres de défaillances à construire que d'E.R. retenus ;
- Réduire la probabilité d'occurrence de cet événement final.

##### II.4.4.2 Mise en œuvre de la méthode

###### a) Principe

- Définir l'événement final indésirable ;
- Représenter graphiquement les combinaisons d'événements par un "arbre" ;
- Arbre formé de niveaux successifs tel que chaque événement soit généré à partir d'événements inférieurs par l'intermédiaire de portes logiques "et" et "ou" ;

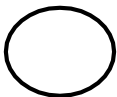
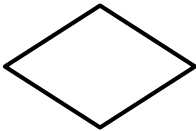
- Se poser la question : “qu’est-ce qu’il faut pour que l’événement se produise ?” ;
- Construction de l’arbre arrêtée lorsque les événements élémentaires :
  - Sont indépendants entre eux ;
  - Leur probabilité peut être estimée ;
  - Il est décidé de ne pas les décomposer en combinaison d’événements plus simples [12].

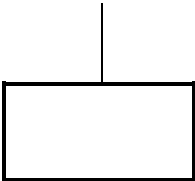
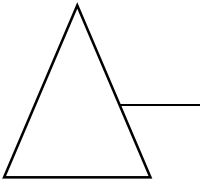
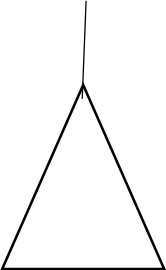
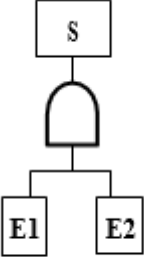
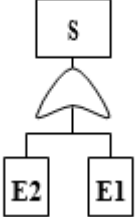
**b) Déroulement**

- Définition de l’événement final indésirable ;
- Etude du système ;
- Construction de l’arbre ;
- Exploitation de l’arbre :
  - Évaluation de la probabilité des événements élémentaires ;
  - Calcul de la probabilité de l’événement final ;
  - Mise en évidence des chemins critiques ;
  - Modification de la structure de l’arbre par adjonction de barrières supplémentaires [12] :

**II.4.4.3 Présentation graphique**

**Tableau II.2 : Symboles de la méthode AdD [12].**

Symbole	Nom du symbole	Signification du symbole
	Cercle	Représentation d'un événement élémentaire.
	Losange	Représentation d'un événement qui ne peut être considéré comme élémentaire, mais dont les causes ne sont pas développées faute de renseignement ou faute d'intérêt.

	<p>Rectangle</p>	<p>Représentation d'un événement final non désiré ou d'un événement intermédiaire résultant de la combinaison d'événements plus élémentaires par l'intermédiaire de portes logiques.</p>
	<p>Triangle</p>	<p>Report (sortie) Le sous-arbre situé sous ce triangle est à dupliquer.</p>
	<p>Triangle</p>	<p>Report (entrée) à l'endroit indiqué par ce second triangle.</p>
	<p>Porte ET</p>	<p>L'événement de sortie S est généré si les événements E1 et E2 sont présents simultanément.</p>
	<p>Porte OU</p>	<p>L'événement de sortie S est généré si l'un au moins des événements E1 et E2 sont présents.</p>

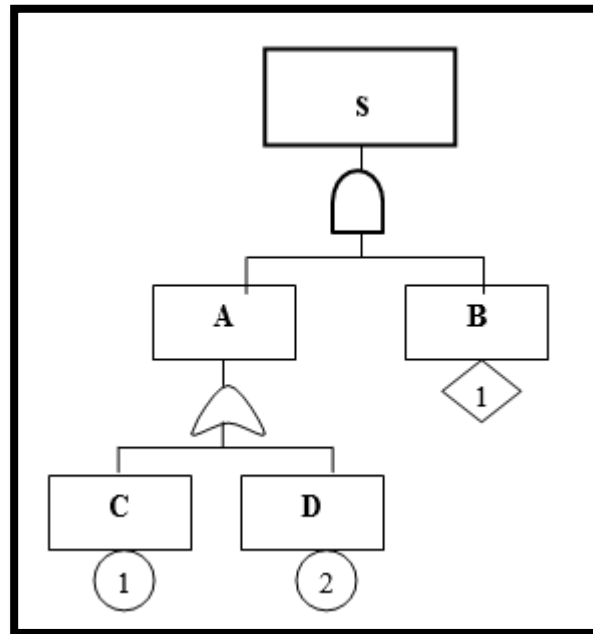


Figure II.5 : Présentation graphique de la méthode AdD [12].

#### II.4.4.4 Intérêts et limites

- Méthode qualitative et semi-quantitative précise qui est le travail d'une équipe pluridisciplinaire ;
- Fait intervenir les combinaisons d'événements ;
- Permet de déterminer les chemins critiques et facilite le choix des actions de préventions ;
- Le choix judicieux et objectif des probabilités d'occurrence est essentiel. Attention "aux calculs scientifiques exacts" à partir de "données fausses" ;
- Peu appropriée aux phases transitoires et aux procédés discontinus [12].

#### II.5 Conclusion

Dans le cadre de ce présent chapitre, nous avons essayé de mieux situer les démarches et méthodes d'analyse des risques, nous avons d'abord clarifié les techniques de raisonnement de l'analyse prévisionnelle des risques où on a présenté la différence entre les méthodes qualitative/ quantitative. Ensuite, les méthodes les plus utilisées dans l'analyse de la sûreté de fonctionnement ont été définies et on a terminer avec plus de détails sur la méthodes de l'AdD, dans le dernier chapitre nous allons expliquer le passage de l'arbre de défaillance vers le réseaux bayésiens.

**Chapitre III :**  
**Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle**  
**du système étudié**

### III.1 Introduction

Le stockage du pétrole dans la zone industrielle de l’RTE Skikda est une opération principale et d’après la présentation du complexe RTE et leurs unités, on a choisi de réaliser notre modélisation sur les bacs de stockage à toit flottant est plus précisément le système détection extinction USD nous allons on va présenter une description générale des bacs de stockage à toit flottant suivie d’une présentation du système étudié « système détection extinction USD ».

### III.2 Description des Bacs de Stockage à Toit Flottant

Comprennent une structure flottante directement posée sur le liquide. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les pertes par évaporation sont réservés aux produits volatils.

Le toit flottant est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d’étanchéité qui permet au toit de coulisser sans entraves à l’intérieur de la robe [13].

Il existe deux types de toit flottant :

- Toit à ponton annulaire : Caisson recouvre jusqu’à 50% surface du liquide.  
Partie centrale libre de gonfler pour libérer espace aux vapeurs qui peuvent se former.
- Toit à double pont : c’est le cas de la DRG SKIKDA, constitué de 2 couches de tôle, séparées par un espace vide d’environ 40cm compartimenté en caissons renforçant la structure du toit.

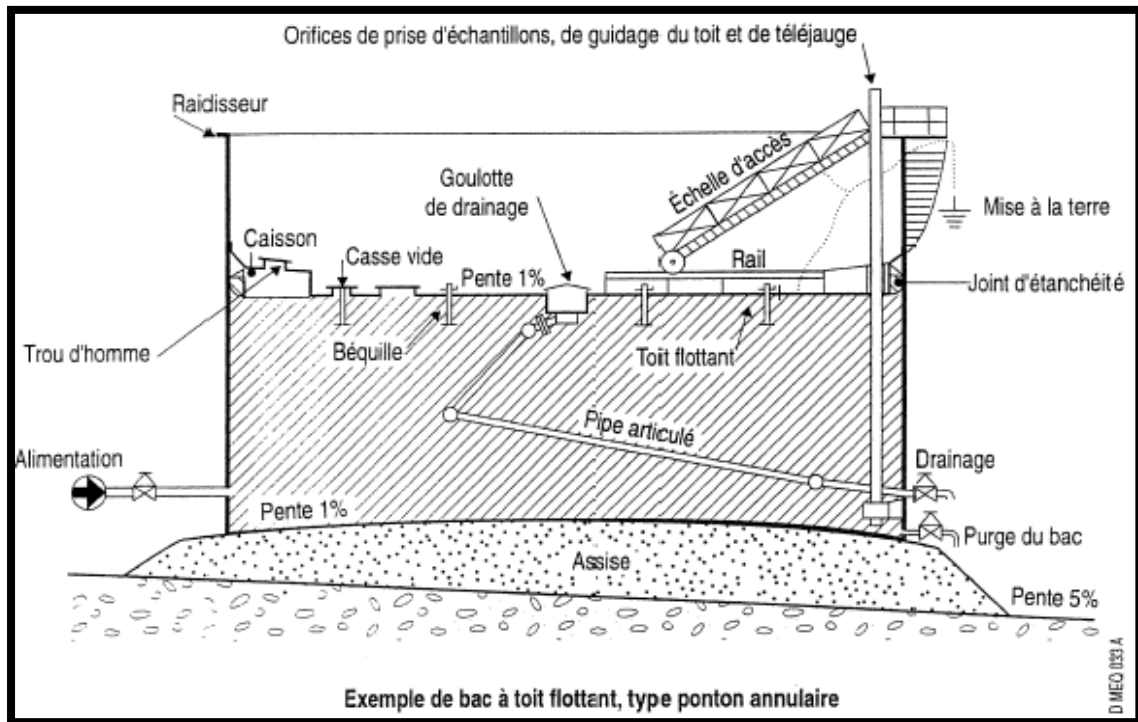


Figure III.1 : Bac à Toi Flottant [14].

### III.2.1 Accessoires des Réservoirs

#### III.2.1.1 Accessoires d'Accès au Réservoir

Les accessoires d'accès aux réservoirs comprennent : cuvette de rétention, escaliers, Passerelles et échelle mobile.

- **Cuvette de Rétention :**

Une cuvette de rétention est une capacité destinée à recevoir les hydrocarbures s'écoulant accidentellement des réservoirs.

Une telle capacité peut être obtenue par délimitation d'un espace de terrain autour ou à proximité des réservoirs, à l'aide de merlons ou de murs, ou par formation d'une excavation autour ou à proximité de ceux-ci.

La capacité réelle d'une cuvette est celle qui est calculée suivant ses dimensions géométriques, sans tenir compte de la présence des réservoirs implantés dans cette cuvette.



**Figure III.2 :** Cuvette de Rétention [14].

- **Un escalier :**

Un escalier d'accès à mains courants. Avec marches orientales.

- **Une échelle :**

Une échelle mobile pour les bacs à toit flottant, cette échelle est menée d'une crinoline, lorsque la hauteur dépasse 10m, un escalier d'accès avec main courante.

- **Passerelles :**

Des passerelles ou plateforme fixes, menés de garde-corps, sont disposées de façons à permettre l'accès sans risque aux orifices de jaugeage et de respiration à moins que le toit soit bordé par un garde-corps dans la partie intéressée.



**Figure III.3 :** Accessoires d'Accès au Réservoir [14].

### III.2.1.2 Accessoires de sécurité

Les accessoires de sécurité sont indispensables à l'exploitation du bac en toute sécurité, ses accessoires sont :

- **Soupapes de sécurité :**

La nature du brut l'exige pour l'évacuation du gaz, la soupape est menée d'un ressort qui permet son ouverture automatiquement en cas de surpression à l'intérieur du bac, et se ferme automatiquement lorsque les conditions normales ont été rétablies.

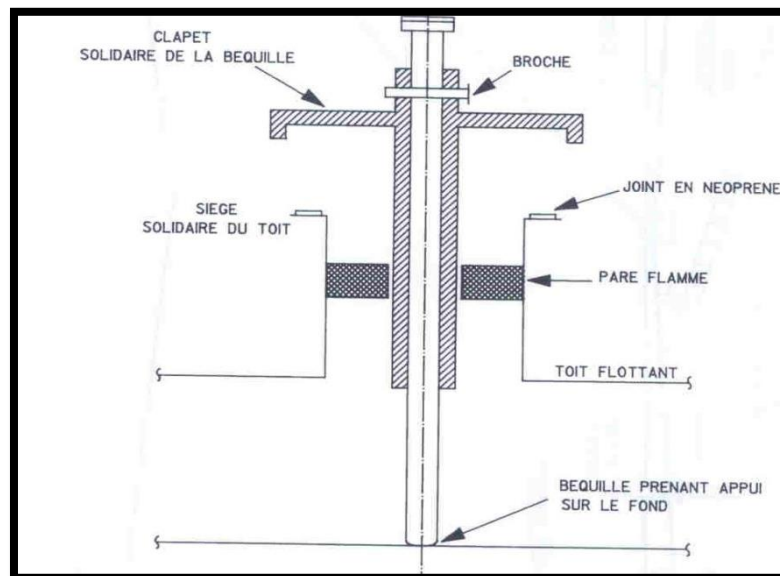


Figure III.4 : Exemple d'une soupape ouvert [14].

- **Arrêtes-Flammes :**

Ces appareils sont destinés à empêcher la pénétration d'une flamme dans le réservoir. Ils sont constitués par des grilles ou des empilages de tôles endurcies d'aluminium, ils agissent par disparition de la chaleur et sont construit de la manière à ne pas créer que très peu de perte de charge. On place des arrêtes- flammes sur des événements ou à la sortie de soupapes de sécurité.

- **Mise à la Terre :**

Les réservoirs doivent être mis à la terre, de cette façon ils forment des cages faraday dont l'intérieur est préservé de toute influence électrique et l'écoulement des charges atmosphériques se fait dans des bonnes conditions.

Les réservoirs de DRG Skikda sont mis à la terre (03 mises à la terre chacun) étant donné qu'ils sont de grand diamètre, leurs mises à la terre se fait en plusieurs points symétriques de leur robe (une prise tous les 20m).

Les mises à la terre ont plusieurs buts :

- Ecoulement au sol des charges électrostatiques produites par l'écoulement du produit dans les parois des réservoirs.
- Ecoulement au sol des courants de foudre (charges électriques résultant de la foudre) pour éviter tout amorçage d'arc et les destructions matériels qui pourraient en résulter.
- Ecoulement au sol des courants forts dus au défaut d'isolement du réseau électrique.

### III.2.1.3 Drain d'Evacuation des Eaux de Pluviales du Toit

L'évacuation des eaux pluviales est faite par des flexibles ou des tubes articulés. De plus, en cas de bouchage de ce système, un drain de sécurité permet à l'eau de s'écouler dans le produit afin d'éviter que le toit ne coule.

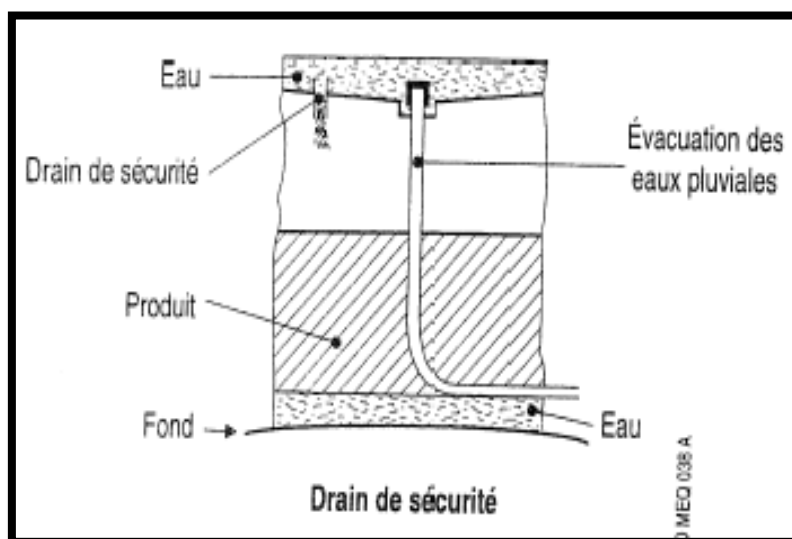


Figure III.5 : Exemple d'Evacuation des Eaux Pluviales [14].

- **Circuit Mousse :**

Des diffuseurs placés en haut de la robe étalent sur la surface de du liquide un tapis de mousse capable d'étouffer les flammes en cas d'incendie. Pour assurer une couverture rapide et uniforme repartir judicieusement plusieurs diffuseurs installés sur le tour de réservoirs.

- **Déversoirs :**

Tubes défecteurs : qui ont pour but de ramener le jet de mousse contre la paroi du déversoir, la mousse découle le long de cette dernière jusqu'à la surface des hydrocarbures laquelle elle s'étale.

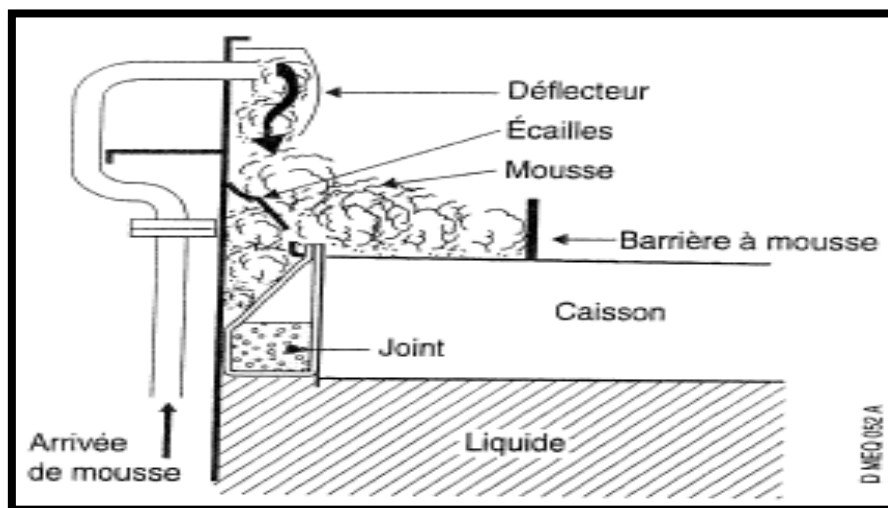


Figure III.6 : Exemple de Circuit à Mousse [14].

- **Système fixe de refroidissement :**

C'est une canalisation circulaire où se trouvent les têtes d'arrosage en gardant un certain intervalle. Les tuyaux d'alimentation en eau vers chaque réservoir sont raccordés avec la canalisation principale à incendie.

- **Système de détection et extinction automatique USD :**

Ce système combine des capteurs de détection d'incendie avancés avec des capacités de suppression automatisées pour détecter rapidement les départs de feu et y réagir de manière autonome. Les capteurs utilisés peuvent inclure des caméras thermiques, un câble thermosensible, des détecteurs de fumée, des capteurs de gaz, des systèmes de détection d'étincelles, etc.

Lorsqu'un incendie est détecté, le système USD envoie une alerte à la salle de veille de direction HSE. En parallèle, le système peut déployer des moyens d'extinction automatique tels que des drones équipés d'extincteurs, dans l'RTE on a des déversoirs sur le bac de stockage, des systèmes de pulvérisation d'eau ou de mousse, voire des dispositifs de suppression d'incendie plus avancés.

**a) Composantes du système**

- ❖ USD (unité de stockage et de dosage).

- ❖ Bouteilles d'Azote.
- ❖ Des fusibles, contres poids.
- ❖ La couronne et les buses de diffuseurs [3].

**b) Fonctionnement du système**

Lorsque la température atteint 92°C les fusibles fonctionnent, provoque la chute du contre poids sur le toit, qui percute la bouteille d'Azote, la libération de ce dernier à 125 bar percute à son tour l'USD [3].

**c) Avantage du système**

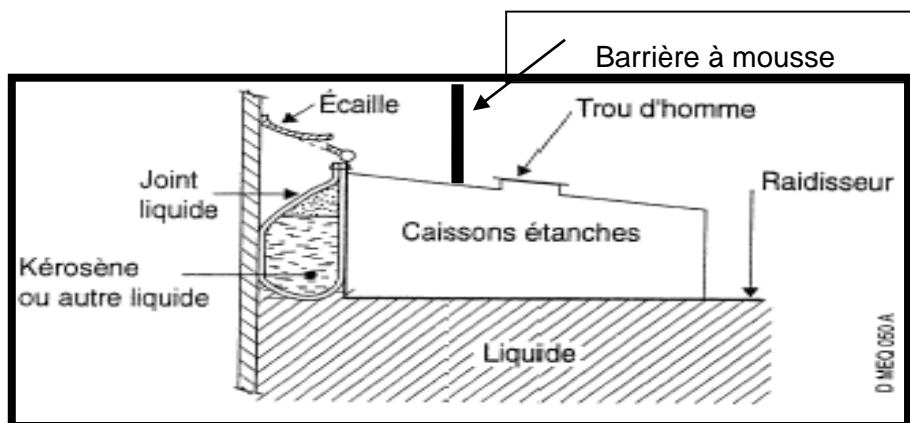
L'avantage d'un système de détection et d'extinction automatique USD est sa capacité à intervenir rapidement et de manière autonome, ce qui peut réduire considérablement les délais de réponse aux incendies et minimiser les risques pour les personnes et les biens. De plus, l'utilisation des déversoirs permet d'accéder à des zones difficiles d'accès pour les équipes de secours conventionnelles [3].

**III.2.1.4 Accessoires de contrôle et d'entretien**

• **Joint d'étanchéité :**

L'étanchéité entre le toit flottant et la robe du bac est assurée par des joints qui peuvent être réalisés de différentes manières. De plus, afin d'améliorer l'étanchéité entre robe et toit, de nombreux bacs sont équipés d'un système de double joint primaire et secondaire.

L'étanchéité entre la robe et le toit est maintenue par un « boudin » compartimenté rempli de kérosène ou de gazole. Ce dispositif est peu utilisé car en cas de percement, le joint perd son étanchéité.



**Figure III.7 : Joint d'étanchéité [14].**

- **Trous d'homme :**

Les trous d'homme pour l'inspection des réservoirs et le nettoyage.



**Figure III.8 :** Exemple d'un Trou d'Homme sur le Toit [14].

- **Caissons :**

Les caissons des toits flottants sont munis d'orifice permettant le contrôle de leur atmosphère.

- **Béquilles :**

Lorsque la hauteur du liquide ne permet plus de maintenir le toit en flottaison, son supportage est assuré par des béquilles. Le nombre de béquilles nécessaires dépend de la taille du bac.



**Figure III.9 :** Exemple d'une Béquille [14].

- **Système de jaugeage :**

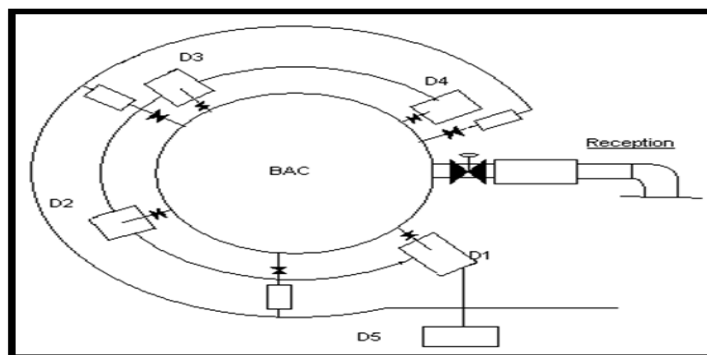
Le jaugeage, sert au prélèvement des échantillons. L'entrée des hydrocarbures dans les réservoirs doit se faire par le bas.

- **Indicateur de niveau :**

Il sert à indiquer le niveau de pétrole au niveau du bac, il est relié à la salle de contrôle par un transmetteur.

- **Réseaux de drainage des eaux de purge :**

Équipé de quatre vannes (D1, D2, D3, D4) servent à la purge de l'eau après la décantation.



**Figure III.10 :** Les Vannes de Réservoir [14].

### III.3 Risques Existants au Niveau RTE :

#### a) **Explosion :**

Concernant le condensât, l'explosion dans un bac à toit flottant est limitée par le fait qu'il existe un contact permanent entre le toit et la surface du liquide, empêchant la formation dans un espace donné, d'air carburé d'où risque de surpression augmentant avec la température.

Par contre, vu l'étanchéité rarement parfaite du joint annulaire, il peut y avoir stagnation du gaz sur un toit surtout s'il est en position basse entraînant de ce fait un mélange explosif.

L'explosion peut survenir au niveau aussi des caissons du toit, pollués par les vapeurs combustibles dues à leur infiltration par soudures défectueuses ou par corrosion (caissons fuyards) d'où la nécessité de détection périodique de ces caissons. Cette explosion ne peut se produire que si les vapeurs émises par le condensât se trouvent dans les limites d'explosivité.

Par ailleurs, un scénario d'accident majeur se rapporte à des effets potentiels au niveau de « cibles » présentes dans l'environnement. Dans le cas des accidents majeurs, il convient de distinguer les cibles suivantes :

- Les personnes (personnel du site concerné, populations habitant ou travaillant autour de sites industriels).
- Les installations et équipements pouvant être à l'origine d'accidents
- (Équipements dangereux)
- Certains équipements indispensables pour maintenir le niveau de sécurité des installations (équipements de sécurité critiques comme une salle de contrôle, une locale pomperie incendie, un réseau torche...).

### **b) Feu de nappe :**

Le terme « feu de nappe », ou « feu de flaque », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air. Les dimensions et la géométrie de la nappe peuvent être tout à fait variables. Il convient ainsi de distinguer :

- 1- Feux de réservoir :** le feu est alors contenu dans une enceinte dont la surface est déterminée par les dimensions du réservoir.
- 2- Feux de cuvette (de rétention) :** l'extension de la nappe peut alors être limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage.
- 3- Feux de flaque libre :** en l'absence de moyens physiques prévus pour limiter l'extension de la nappe ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas complètement envahie ; l'extension de la nappe est alors principalement fonction des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des conditions de rejet du combustible.

### **c) UVCE :**

Cet acronyme anglais (Unconfined Vapour Cloud Explosion) signifie en français : explosion d'un nuage de gaz en atmosphère libre.

**d) Boilover :**

Un Boilover est un phénomène de moussage brutal impliquant des réservoirs atmosphériques et résultant de la transformation en vapeur, d'eau liquide (fond d'eau, eau libre, émulsion) contenue dans un réservoir en feu.

Ce phénomène est à l'origine de violentes projections de combustible, du bouillonnement du contenu du bac, de l'extension des flammes et de la formation d'une boule de feu.



**Figure III.11:** Boilover, accident de Skikda 2005 [15].

**e) Incendie :**

A la température ordinaire le condensât ou du pétrole émet des vapeurs inflammables qui se répandent dans l'atmosphère, formant ainsi un mélange inflammable voir explosif. Les feux sur les réservoirs de stockage du condensât à toit flottant se déclarent généralement dans l'espace annulaire (joint annulaire) entre le toit et la robe du réservoir.

L'incendie peut se déclarer au niveau de la cuvette de rétention en cas de débordement.

En résumé l'incendie sur un réservoir de stockage à toit flottant commence par l'inflammation des vapeurs émises par le produit cette inflammation peut être à l'origine de différentes causes, mais ne peut se produire que si elle se situe dans les limites d'inflammabilité.

**f) Débordement :**

C'est le risque de déversement du produit aux alentours du bac à toit flottant, c'est pour cela que la cuvette de rétention est aménagée pour limiter l'épandage du produit à une distance

importante. Ce risque présente un danger très important, puisque de lui découlent d'autres risques à savoir : la pollution et l'asphyxie.

**g) Pollution :**

Le déversement du condensât crée une pollution atmosphérique sous forme de masses de gaz ou de vapeurs plus dangereuse dans l'air. Les quantités du produit absorbées par le sol créent aussi une pollution souterraine (eaux, surfaces, etc.).

**h) Pollution de l'eau :**

- Eau de procédée.
- Eau de drainages des bacs de stockage et autres capacités.
- Eau acide.
- Eau de refroidissement.
- Eau accidentellement polluée.
- Eau de laboratoire (contaminée par le déversement des restes des échantillons et réactifs).
- Eau sanitaire.

**i) Asphyxie :**

Les vapeurs d'hydrocarbures, étant plus lourdes que l'air, le danger d'asphyxie existe, même à l'air libre. Ce risque apparaît par manque d'oxygène, on admet généralement une teneur en oxygène dans l'air de 17% minimum, au-dessous de cette valeur, l'organisme humain ressent déjà certaines troubles, à 8% la mort survient. L'asphyxie peut être causée par l'air carburé.

**j) Risque des "ATEX" (Atmosphère Explosif) :**

Nombre d'accidents aux conséquences tristement désastreuses illustrent l'histoire des industries.

Ces accidents trouvent leurs origines dans la nature même des produits mis en œuvre, dans les modes opératoires, dans les matériels employés. Parfois, ces accidents ont une origine bien plus discrète et insidieuse : l'atmosphère dans laquelle le travailleur évolue.

Sous certaines conditions, qui seront abordées plus loin, les substances inflammables ou les poussières combustibles en suspension dans l'atmosphère peuvent réagir violemment et donner lieu à une déflagration, voire une détonation.

Ces atmosphères explosives sont un phénomène connu depuis longtemps, parfois maîtrisé ou prévenu, mais bien souvent mortel pour nombre de travailleurs lorsqu'elles entrent en contact avec une source d'inflammation [15].

Vu que le terminal de Skikda est n'est pas loin au centre-ville et les habitants qui sont accotés et les autres complexe RA1K, RA2K, CP1/K, GNL1/K, TOPPING, ENGI, cours un grand risque et ci en prend le cas d'une fuite de gaz et comme la grande pression de son arrivage au TA GAZ environ 60 BAR s'il y a un incident sa cours un intense problème et tout le voisinage sera toucher.



**Figure III.12 :** Photo d'une Unité après une Explosion [15].

### III.4 Identification des Barrières de Sécurité au Niveau RTE

#### III.4.1 Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau du Réservoir de Stockage

**Tableau III.1 :** Liste BTS bac de stockage [15,16].

Type de Barrière	Fonction	Prévention	Protection
Télé-jaugeur	- Servent au prélèvement des échantillons	✓	

<b>Détection Incendie</b>	- Transmettre un signal à la salle de contrôle en cas d'incendie.	✓	✓
<b>Toit Annulaire</b>	- Éliminent la perte de produit pendant le remplissage et réduisent les pertes par respiration.	✓	
<b>Les Rails de l'Échelle du Toit</b>	- Support de l'échelle.	✓	
<b>Vanne de Drainage (04 pied de bac)</b>	- Drainage des eaux de purge.		✓
<b>Vanne de Recyclage</b>	- Recyclage des eaux de drainage.		✓
<b>Couronnes de Refroidissement</b>	- Refroidissement de la robe du bac		✓
<b>Soupape Contre Pression</b>	- Protection contre les surpressions variantes lentement.	✓	
<b>Soupape Respiration</b>	- Pour protection contre dépression et surpression.	✓	
<b>Détecteur de Niveau</b>	- Détecter le niveau de produit stocké dans le bac.	✓	
<b>Circuit Evacuation de Bac + Drainage</b>	- Evacuer et drainer du produit et de l'eau.	✓	
<b>Mise à la Terre</b>	- Evacuation des charges électriques (statique ou actives) vers la terre.	✓	
<b>Fosse de Purge</b>	- Récupération + évacuation des eaux de purge vers le réseau de drainage.	✓	
<b>Flexible de Drainage</b>	- Drainage des eaux pluviales du toit.		✓
<b>Contre Poids Flexible + Drainage</b>	- Équilibré le flexible de drainage	✓	

<b>Trous d'Homme</b>	- Entrer de l'homme pour inspection et maintenance.	✓	
<b>L'échelle de la Passerelle</b>	- Accès sur le bac + toit. - Accès aux déversoirs. - Inspection du bac.	✓	
<b>Les Caissons</b>	- Assurer la stabilité du toit au-dessus du produit. - Confiner les fuites de pétrole brut.	✓	✓
<b>Les Béquilles</b>	- Servent à tenir le toit en position exploitation et position maintenance.	✓	
<b>Tube de Guidage</b>	- Protection du toit contre les rotations. - Prise d'échantillon. - Jaugeage.		✓
<b>Soupape de Sécurité</b>	- L'évacuation du gaz. - Protection contre pression.		✓
<b>Arrête-Flammes</b>	- Provoque un coincement de la flamme. - Empêche tout retour de flamme dans le bac.	✓	
<b>Joint d'Étanchéité</b>	- Assurer l'étanchéité entre paroi et le toit du bac. - La diminution du taux de vaporisation. -conçus à une manière de faciliter le glissement du toit	✓	

**III.4.2 Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau de la pompe booster :**

**Tableau III.2 :** Liste BTS pompe booster [15,16].

Type de barrière	Fonction	Prévention	Protection
<b>Pompe Booster d'Expédition</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage + transfert du produit vers les pompes de chargement.</li> <li>- Assurer une pression à l'amont de la pompe de chargement.</li> </ul>	✓	
<b>Soupape de Déchargement (Aspiration et Recyclage)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libérer l'air soit en amont du turbo soit dans l'atmosphère (Décharge évacuation ou atmosphérique).</li> </ul>		✓
<b>Vanne de Régulation de la Pompe de Chargement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenir le débit constant à la sortie des collecteurs de chargement vers le port, cette dernière se fait en agissant sur la vanne réglant de chaque pompe dans le cas de fonctionnement individuel</li> </ul>		✓
<b>Thermocouple (Sonde de Température)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indiquer la température exacte au niveau de la pompe pendant le pompage.</li> </ul>	✓	
<b>Pompe de Chargement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspirer le liquide du collecteur d'aspiration et le pomper vers le port avec un débit désiré.</li> </ul>	✓	
<b>Pressostat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destinés à ouvrir puis fermer le circuit de la pompe à des valeurs de pressions</li> </ul>	✓	

<b>Aspiration (Pompe Basse pression)</b>	déterminées par le réglage en basse pression.		
<b>Pressostat Refroidissement (Haute Température)</b>	- Conçu pour la distribution automatique d'eau sous pression à la haute température.	✓	
<b>Sonde de Température (Avant /Arrière)</b>	- Indiquer la température en avant et en arrière de la pompe.	✓	
<b>Vibro-Switch (avant et arrière)</b>	- Détection de vibration au niveau de la pompe.	✓	
<b>Electrovanne (Evacuation Corps de Pompe)</b>	- Echappement d'air du corps de la pompe en marche et en arrêt.	✓	
<b>Transmetteur de Pression (Refroidissement Pompe)</b>	- Transmet la valeur de pression exacte de la pompe pour le refroidissement.		✓
<b>Centrale de Graissage du Moteur</b>	- Graissage+ refroidissement du moteur.		✓

### III.4.3 Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau des USD (Unité Stockage et Dosage) :

Tableau III.3 : Liste des BTS au niveau des USD [15].

Type de barrière	Fonction	Prévention	Protection
<b>USD</b>	- Stockage + approvisionnement en émulseur.	✓	
<b>Circuit Pré-mélange</b>	- Transfert l'eau et le pré-mélange (eau-émulseur) vers les déversoirs.	✓	
<b>Générateur à Mousse</b>	- Foisonnement + déversement de la mousse.	✓	

<b>Circuit de Refroidissement</b>	- Refroidissement de la robe de bac.	✓	
<b>Les Déversoirs (Tubes Déflecteur)</b>	- Ramenaient la mousse contre les parois du déversoir.		✓
<b>Purge Régulière</b>	- Purger USD en cas de forte pression.	✓	
<b>Chambre à Mousse</b>	- Étalent sur la surface de du liquide un tapis de mousse capable d'étouffer les flammes en cas d'incendie.		✓

#### III.4.4 Liste des BTS selon leur Rôle au Niveau de la Cuvette de Rétention :

Tableau III.4: Liste BTS cuvette de rétention [15].

Type de Barrière	Fonction	Prévention	Protection
<b>Cuvette de Rétention</b>	- Contenance du volume du produit stocké.		✓
<b>Réseau de Drainage</b>	- Servent à la purge de l'eau après la décantation	✓	
<b>Clapet Anti Retour</b>	- Unidirectionnel du produit.		✓
<b>Vanne Motorisé d'Admission du Bac</b>	- Ouverture : lors de remplissage/expédition. - Fermeture : fin de remplissage /expédition.	✓	
<b>Tuyauterie</b>	- Transfert du produit	✓	
<b>Fausse de Pompe</b>	- Contenir le produit de la fuite - Entretien de la pompe.	✓	
<b>Processus Détection</b>	- Détection d'incendie+transmission	✓	✓

	d'information à la salle de contrôle.		
<b>Processus d'Extinction</b>	- Réceptionner le signal de la salle de contrôle pour procéder à l'extinction.	✓	✓

### III.5 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître l'état des lieux du terminal de Skikda ainsi que la description générale des différentes installations et le fonctionnement du système de détection et d'extinction automatique USD. Ainsi la description des bacs de stockage et leurs barrières existant.

Dans la suite de notre travail nous nous intéressons à l'évaluation des performances HSE au niveau du terminal de Skikda ainsi que l'évaluation de la performance d'un bac de stockage.

# **Chapitre IV :**

## **Etude de cas**

### IV.1 Introduction

L'un des plus grands défis de la recherche en sécurité industrielle et en intelligence artificielle (IA) est la capacité de concevoir et de développer des systèmes dynamiques et évolutifs. Par conséquent, ils doivent prendre des mesures intelligentes sur lesquelles ils peuvent apprendre et raisonner. Mais dans la plupart des cas, les connaissances acquises sont-elles encore suffisantes pour que le système prenne les meilleures décisions ?

Plusieurs approches ont été proposées pour répondre à cette question.

Tout d'abord, nous avons appliqué un arbre de défaillances pour procéder à l'analyse. Cela nous a permis d'identifier la cause et d'intégrer tout ce qui pouvait conduire à l'événement redouté étudié, à savoir « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 ».

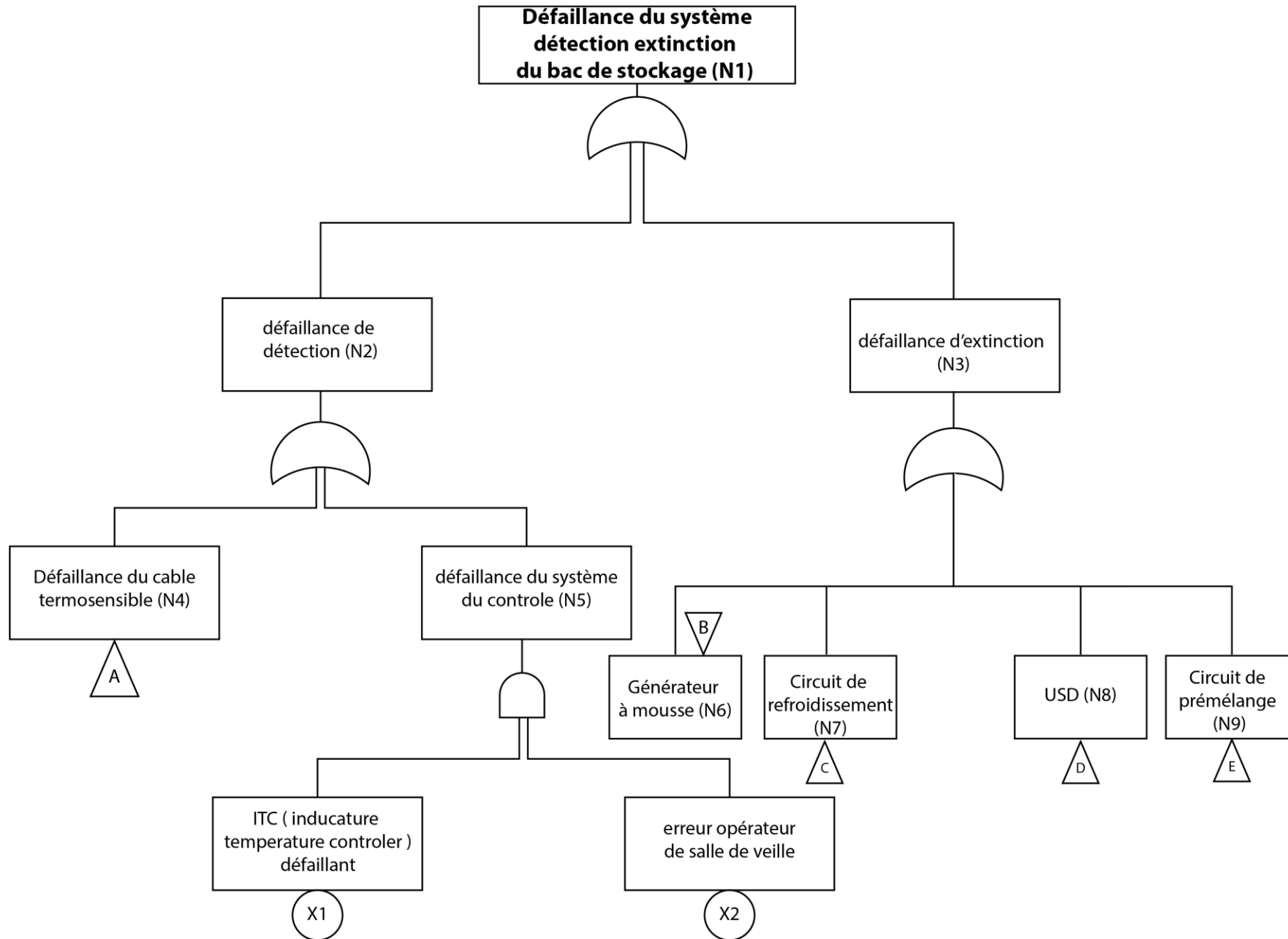
Nous avons ensuite converti AdD en réseau bayésien. RB aide à estimer le risque « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage » en calculant les probabilités conditionnelles. Cette étape a été prolongée par d'autres simulations pour déterminer les événements de base les plus influents des événements du sommet et, finalement, pour produire des recommandations.

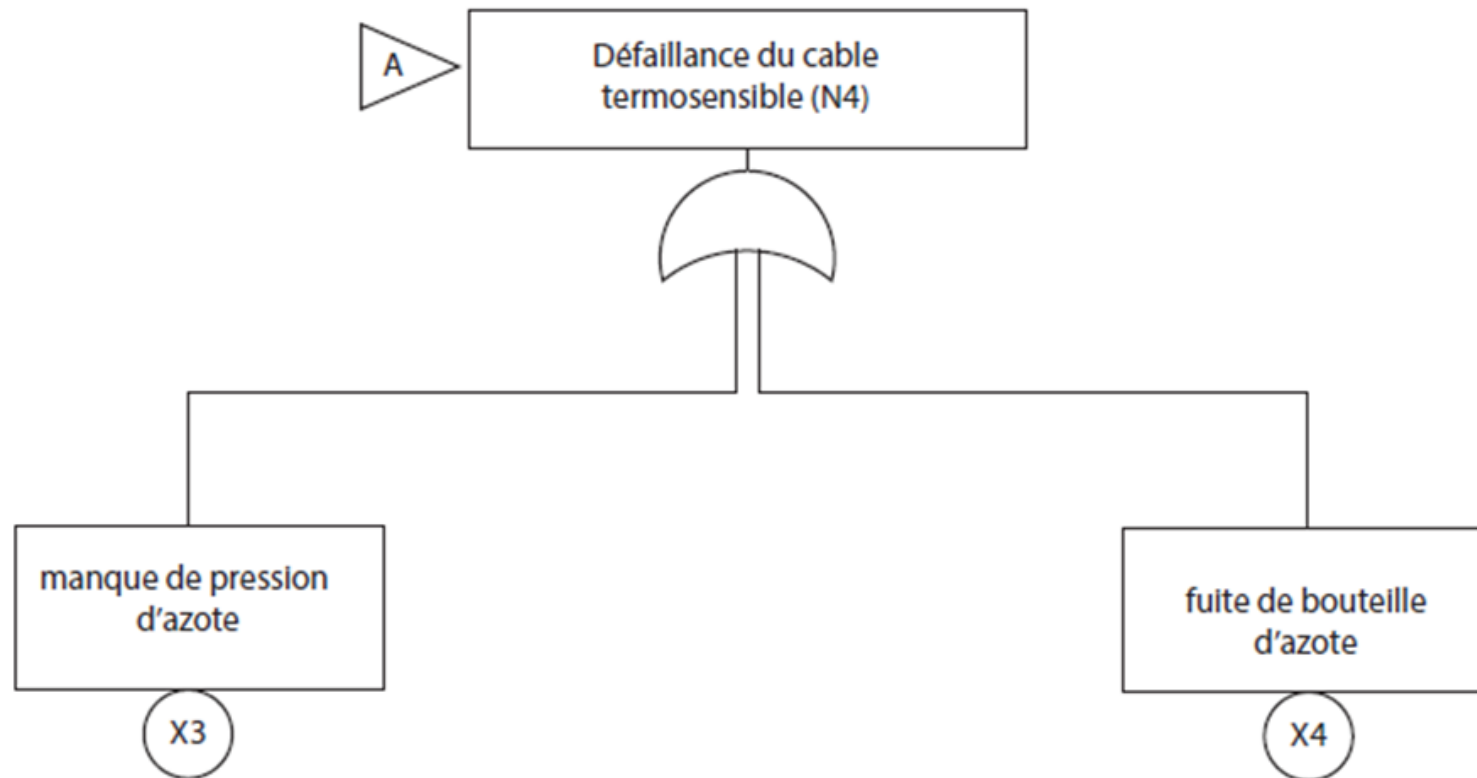
### IV.2 Construction de l'Add pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage »

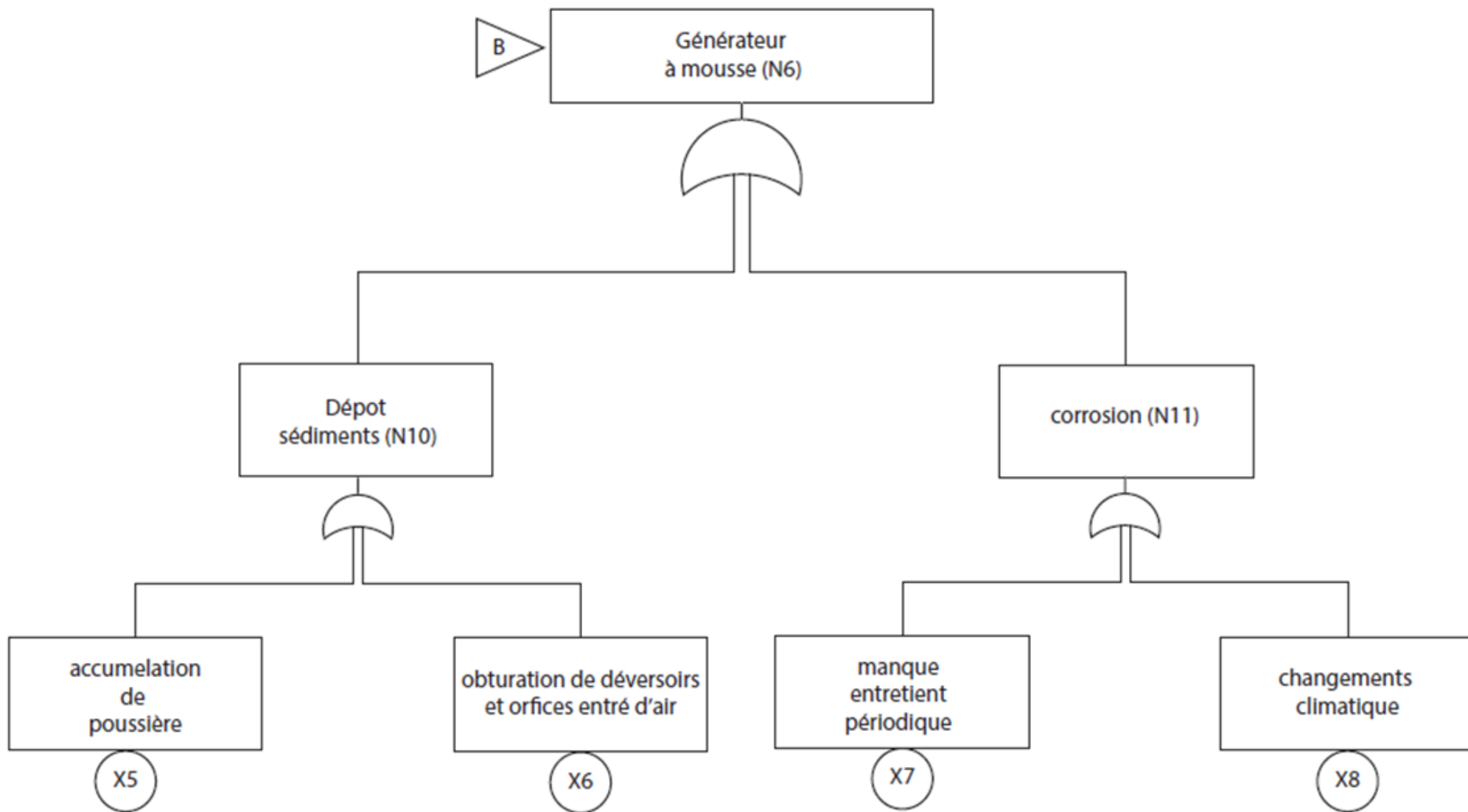
Dans notre travail, « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 », considérée comme l'événement redouté central (ER), est générée si l'un au moins des événements « défaillance de détection » et « défaillance d'extinction » est présent. Ces événements sont liés à (ER) par une porte logique « ou ».

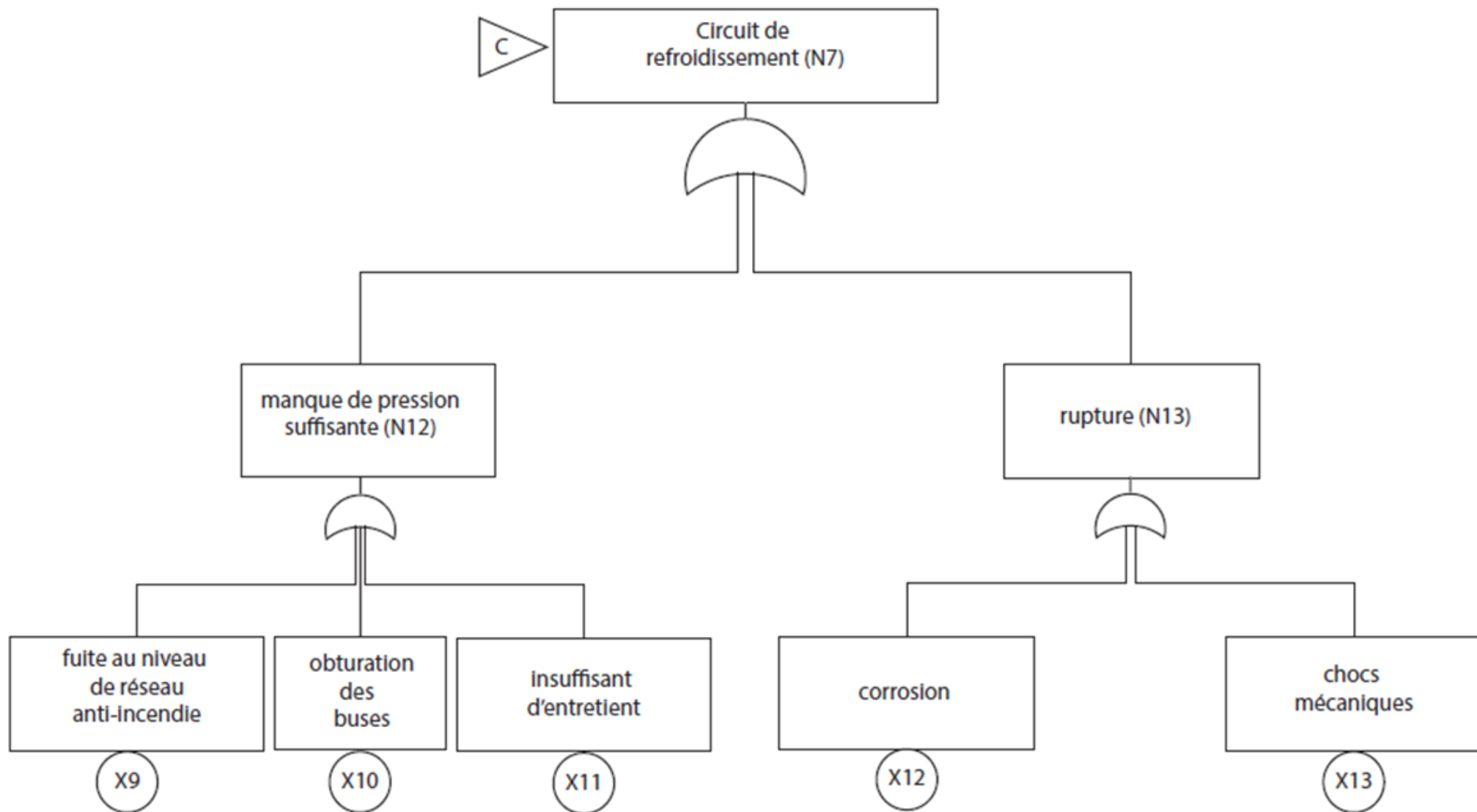
Pour la défaillance de détection, il doit y avoir une défaillance du câble thermosensible ou défaillance du système de contrôle, donc ils sont liés par la porte logique « ou », d'un autre côté on a la défaillance d'extinction si l'un des causes suivantes se réalise : défaillance de générateur à mousse ou de circuit de refroidissement ou de l'USD (unité de stockage et de dosage) ou circuit de pré mélange. Ensuite, l'exécution de ces événements sous forme d'événements intermédiaires chacun d'eux sera développé jusqu'aux événements de base (EB). Le développement et l'enchaînement de ces événements sont indiqués dans la figure IV.1 qui représente la construction d'Add.

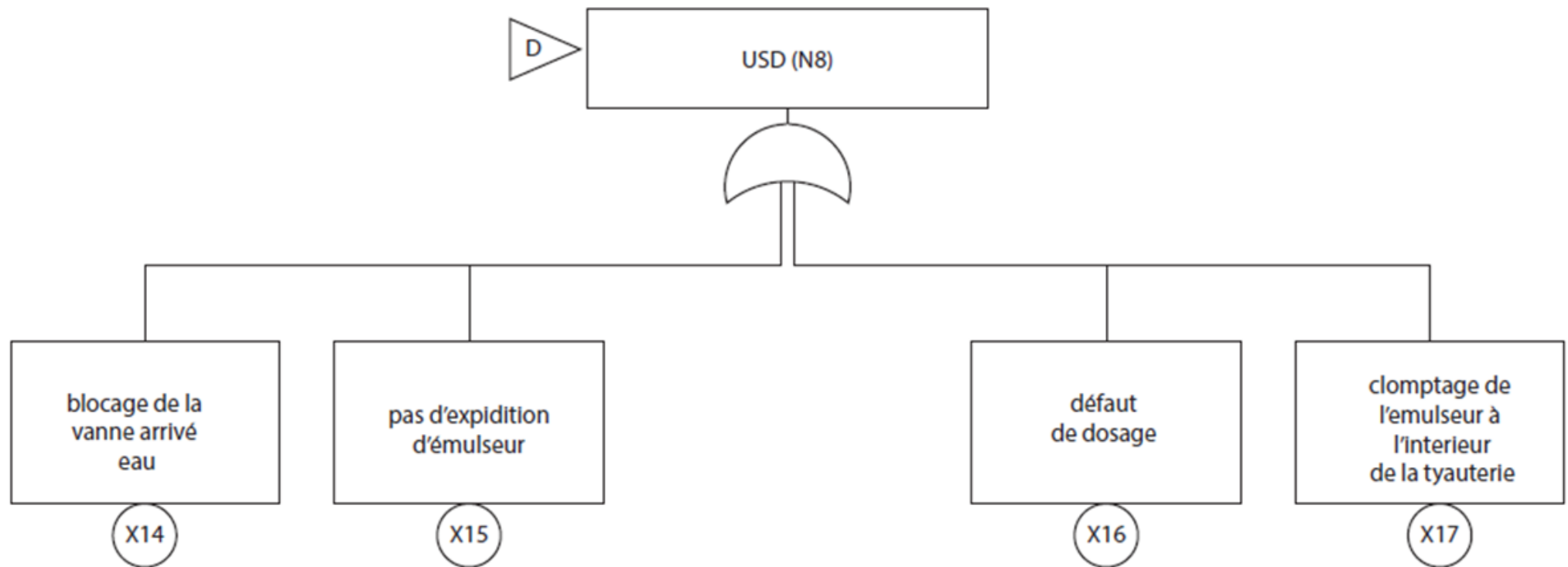
L'Arbre de Défaillance relatif à ce scénario est représenté par la figure suivante :

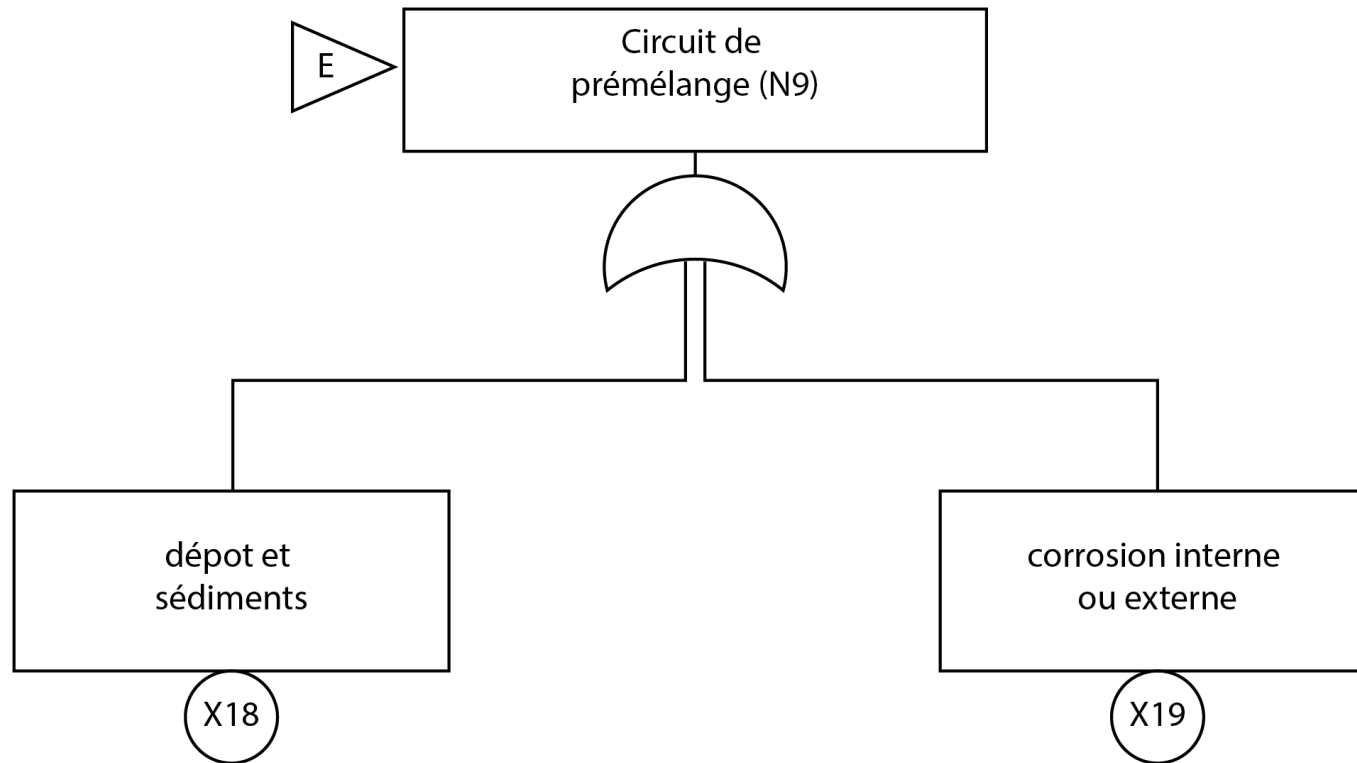












**Figure IV.1 :** Arbre de défaillance pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 »

Tableau IV.1 : Evénements de l'arbre de défaillance

Codes	Événements basique
X1	ITC ( inducature temperature controler )défaillant
X2	Erreur opérateur de salle de veille
X3	Manque de pression d'azote
X4	Fuite de bouteille d'azote
X5	Accumelation de poussière
X6	Obturation de déversoirs et orfices entré d'air
X7	Manque entretien périodique
X8	Changements climatique
X9	Fuite au niveau de réseau anti-incendie
X10	Obturation des buses
X11	Insuffisant d'entretient
X12	Corrosion interne ou externe
X13	Chocs mécaniques
X14	Blocage de la vanne arrivé eau
X15	Pas d'expidition d'émulseur
X16	Défaut de dosage
X17	Clomptage de l'émulseur à l'intérieure la tuyauterie
X18	Dépôt et sédiments
X19	corrosion interne ou externe

Codes	Événements intermédiaires
N1	Défaillance du système détection extinction du bac de stockage
N2	Défaillance de détection
N3	Défaillance d'extinction
N4	Défaillance du câble termosensible
N5	défaillance du système du contrôle
N6	Générateur à mousse
N7	Circuit de refroidissement
N8	USD
N9	Circuit de prémélange

### IV.3 Probabilités dans les réseaux bayésiens

#### IV.3.1 Théorème de Bayes

Théorème de Bayes. Etant donnés deux événements A et B qui sont conditionnellement dépendants, le théorème de Bayes peut s'énoncer comme suit [17].

$$P(A / B) = \frac{P(B / A).P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

- Le terme P(A) est la probabilité a priori de A. Elle est « antérieure » au sens qu'elle précède toute information sur B. P(A) est aussi appelée la probabilité marginale de A.
- Le terme P (A / B) est appelé la probabilité a postérieur d'A sachant B (ou encore d'A sachant B). Elle est « postérieure », au sens qu'elle dépend directement de B.
- Le terme P (B / A), pour un B connu, est appelé la fonction de vraisemblance de A.
- De même, le terme P(B) est appelé la probabilité marginale ou a priori de B.

#### IV.3.2 Types de probabilités dans le modèle Bayésien

##### a) Probabilités a priori

Pour les variables d'entrée du modèle, on associe des probabilités a priori. Ces probabilités sont renseignées [18]

- Soit par avis d'experts ;
- Soit à l'aide du retour d'expérience

##### b) Probabilités conditionnelles

À chaque variable intermédiaire est attachée une table de probabilités conditionnelles. Ces derniers peuvent être renseignés :

- Soit par avis d'experts.
- Soit à l'aide du retour d'expérience.

##### c) Probabilités à postérieur

Les probabilités a postérieur sont calculées selon le théorème de Bayes (1) [19]  
Ce théorème est une conséquence de la définition des probabilités conditionnelles, donnée par la formule (2). Soient A et B deux variables aléatoires, on a :

$$P(A \cap B) = P(A/B) \cdot P(B) = P(B/A) \cdot P(A) \quad (2)$$

Pour calculer les probabilités a posteriori, les réseaux bayésiens utilisent un algorithme d'inférence qui peut être présenté sous de deux formes :

- L'inférence exacte : Conditionnement globale, arbre de jonction, méthode approchée.
- L'inférence approximative : Les méthodes du type Monte-Carlo (On appelle méthode de Monte-Carlo toute méthode visant à calculer une valeur numérique, et utilisant des procédés aléatoires, c'est-à-dire des techniques probabilistes. Le nom de ces méthodes fait allusion aux jeux de hasard pratiqués à Monte-Carlo. Elles sont particulièrement utilisées pour calculer des intégrales en dimensions plus grandes que 1) [20]

#### IV.4 Construction des réseaux bayésiens

La construction d'un réseau bayésien s'effectue en trois étapes essentielles, qui sont présentées sur la figure ci-après. Chacune des trois étapes peut impliquer un recueil d'expertise, au moyen de questionnaires écrits, d'entretiens individuels ou encore de séances de brainstorming. Préconiser, dans un cadre général, l'une ou l'autre de ces approches serait pour le moins hasardeux.

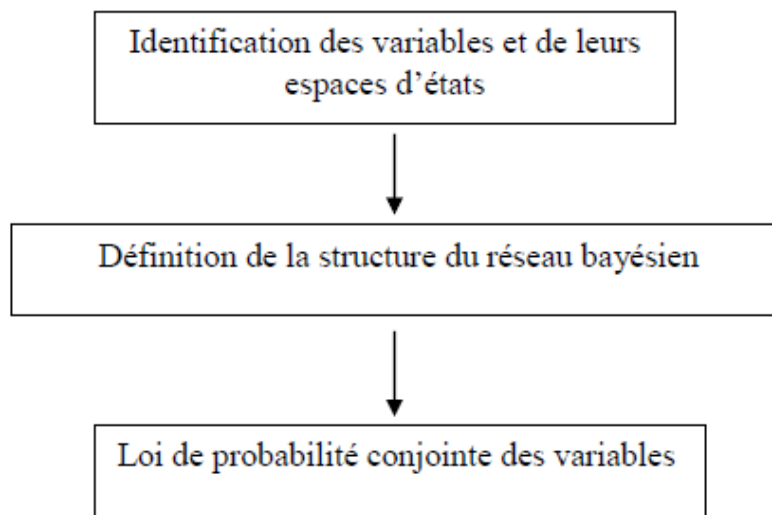


Figure IV.2 : Étapes de construction d'un réseau bayésien [21].

##### IV.4.1 Identification des variables et de leurs espaces d'états

La première étape de construction du réseau bayésien est la seule pour laquelle l'intervention humaine est absolument indispensable. Il s'agit de déterminer l'ensemble des variables  $X_i$ , catégorielles ou numériques, qui caractérisent le système. Comme dans tout travail de modélisation, un compromis entre la précision de la représentation et la maniabilité du modèle doit être trouvé, au moyen d'une discussion entre les experts et le modélisateur.

Lorsque les variables sont identifiées, il est ensuite nécessaire de préciser l'espace d'états de chaque variable  $X_i$ , c'est-à-dire l'ensemble de ses valeurs possibles.

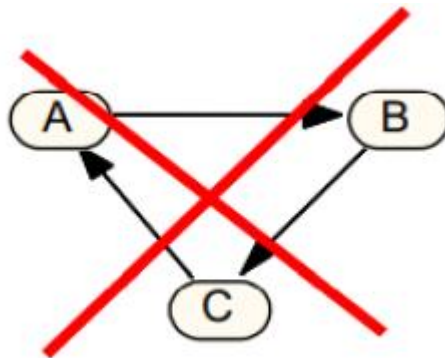
La majorité des logiciels de réseaux bayésiens ne traite que des modèles à variables discrètes, ayant un nombre fini de valeurs possibles. Si tel est le cas, il est impératif de discrétiser les plages de variation des variables continues. Cette limitation est parfois gênante en pratique, car des discrétisations trop fines peuvent conduire à des tables de probabilités de grande taille, de nature à saturer la mémoire de l'ordinateur [21].

### IV.4.2 Définition de la structure du réseau bayésien

La deuxième étape consiste à identifier les liens entre variables, c'est-à-dire à répondre à la question : pour quels couples  $(i, j)$  la variable  $X_i$  influence-t-elle la variable  $X_j$  ?

Dans la plupart des applications, cette étape s'effectue par l'interrogation d'experts. Dans ce cas, des itérations sont souvent nécessaires pour aboutir à une description consensuelle des interactions entre les variables  $X_i$ . L'expérience montre cependant que la représentation graphique du réseau bayésien est dans cette étape un support de dialogue extrêmement précieux.

Un réseau bayésien ne doit pas comporter de circuit orienté ou boucle. Cependant, le nombre et la complexité des dépendances identifiées par les experts laissent parfois supposer que la modélisation par un graphe sans circuit est impossible. Il est alors important de garder à l'esprit que, quelles que soient les dépendances stochastiques entre des variables aléatoires discrètes, il existe toujours une représentation par réseau bayésien de leur loi conjointe. Ce résultat théorique est fondamental et montre bien la puissance de modélisation des réseaux bayésiens [21].



**Figure IV.3 :** Boucle dans un Réseau Bayésien [21].

Lorsque l'on dispose d'une quantité suffisante de données de retour d'expérience concernant les variables  $X_i$ , la structure du réseau bayésien peut également être apprise automatiquement par le réseau bayésien, à condition bien sûr que le logiciel utilisé soit doté de la fonctionnalité adéquate.

#### IV.4.3 Loi de probabilité conjointe des variables

La dernière étape de construction du réseau bayésien consiste à renseigner les tables de probabilités associées aux différentes variables.

Dans un premier temps, la connaissance des experts concernant les lois de probabilité des variables est intégrée au modèle [21].

Concrètement, deux cas se présentent selon la position d'une variable  $X_i$  dans le réseau bayésien :

- La variable  $X_i$  n'a pas de variable parente : les experts doivent préciser la loi de probabilité marginale de  $X_i$ .
- La variable  $X_i$  possède des variables parentes : les experts doivent exprimer la dépendance de  $X_i$  en fonction des variables parentes, soit au moyen de probabilités conditionnelles, soit par une équation déterministe (que le logiciel convertira ensuite en probabilités).

Le recueil de lois de probabilités auprès d'experts est une étape délicate du processus de construction du réseau bayésien. Typiquement, les experts se montrent réticents à chiffrer la plausibilité d'un événement qu'ils n'ont jamais observé.

Le cas d'absence totale d'information concernant la loi de probabilité d'une variable  $X_i$  peut être rencontré. La solution pragmatique consiste alors à affecter à  $X_i$  une loi de probabilité arbitraire, par exemple une loi uniforme. Lorsque la construction du réseau bayésien est achevée, l'étude de la sensibilité du modèle à cette loi permet de décider ou non de consacrer davantage de moyens à l'étude de la variable  $X_i$ .

La quasi-totalité des logiciels commerciaux de réseaux bayésiens permet l'apprentissage automatique des tables de probabilités à partir de données. Par conséquent, dans un second temps, les éventuelles observations des  $X_i$  peuvent être incorporées au modèle, afin d'affiner les probabilités introduites par les experts [21].

Il est rare en pratique que les données soient suffisamment nombreuses et fiables pour caractériser de manière satisfaisante la loi de probabilité conjointe des variables  $X_i$ . Cependant, si tel est le cas, l'apprentissage automatique des probabilités rend inutile la phase de renseignement du modèle par des probabilités expertes ; on peut alors se contenter, dans la phase initiale, d'attribuer à chaque variable une loi de probabilité uniforme.

### IV.5 La transformation de l'AdD en RB

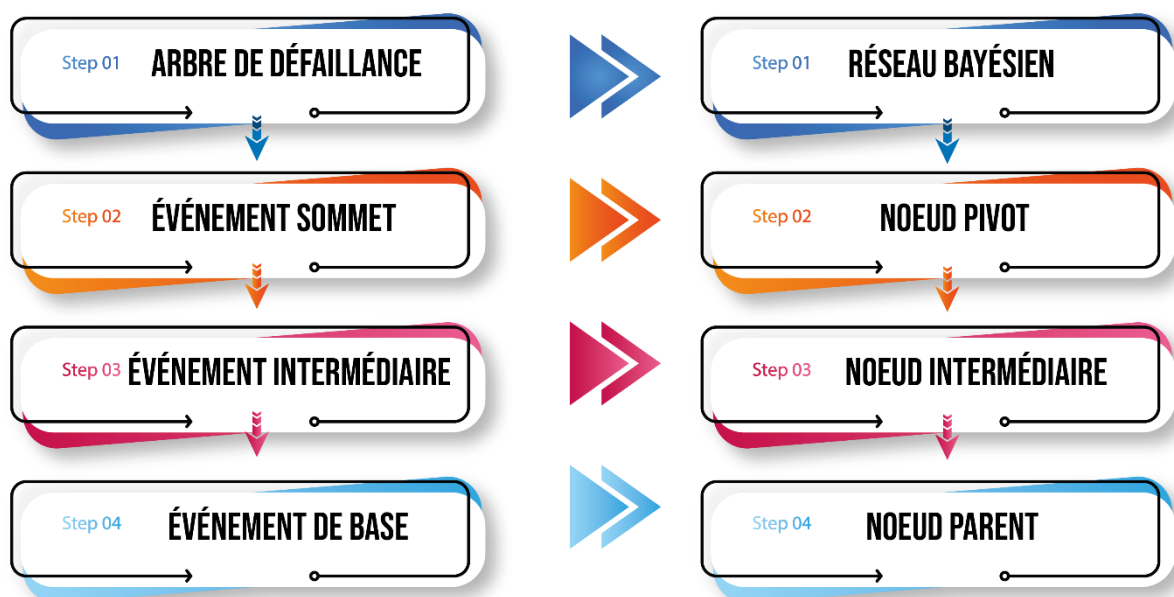


Figure IV.4 : Organigramme représentant la transformation d'une AdD à un RB.

### IV.5.1 Transformation graphique

- Devant le nœud pivot du RB, il y a l'événement sommet à l'AdD ;
- Pour chaque événement intermédiaire dans l'AdD il y a un nœud intermédiaire dans le RB ;
- Chaque événement de base de l'AdD est converti en un nœud parent dans le RB ;
- Les nœuds du RB doivent être connectés entre eux selon l'arrangement des portes logiques de l'AdD.

Voici l'exemple d'une structure d'AdD (Figure V.3) et sa transformation en structure du réseau bayésien (Figure V.4) :

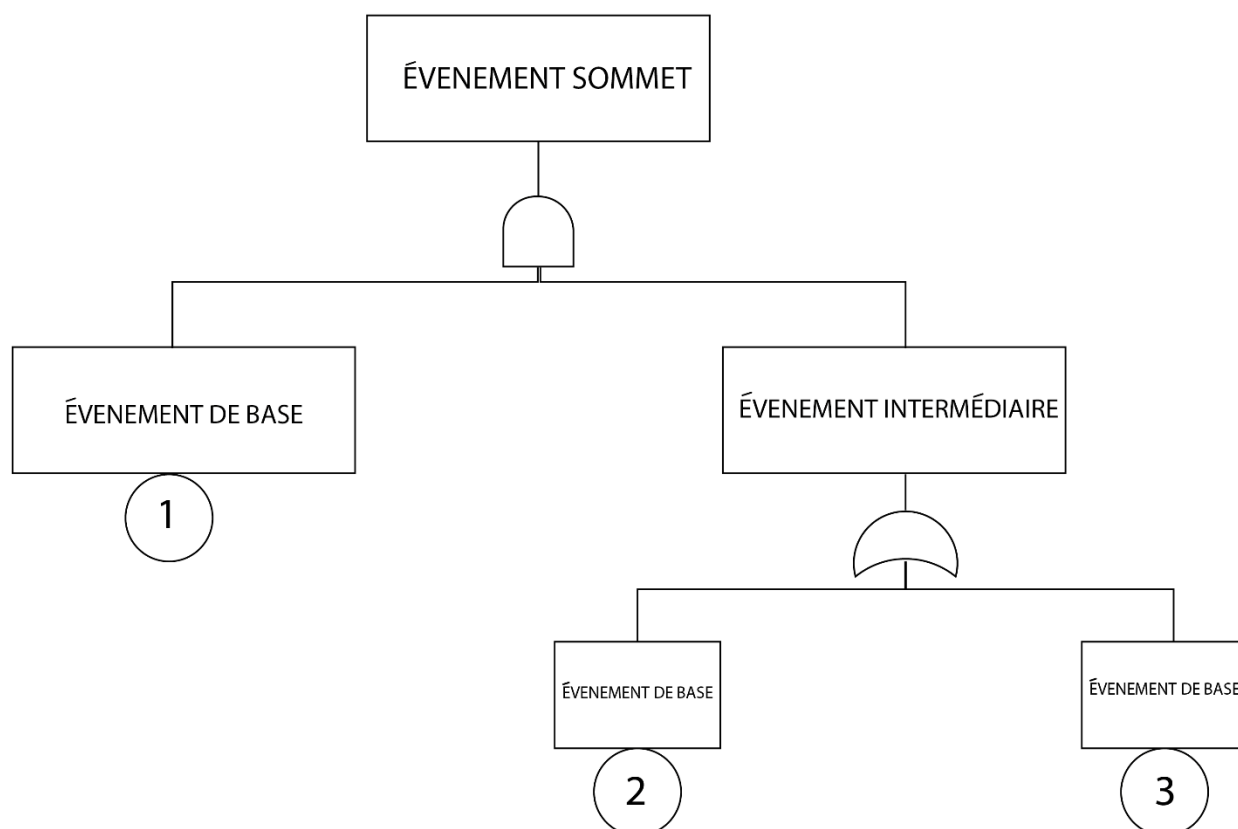
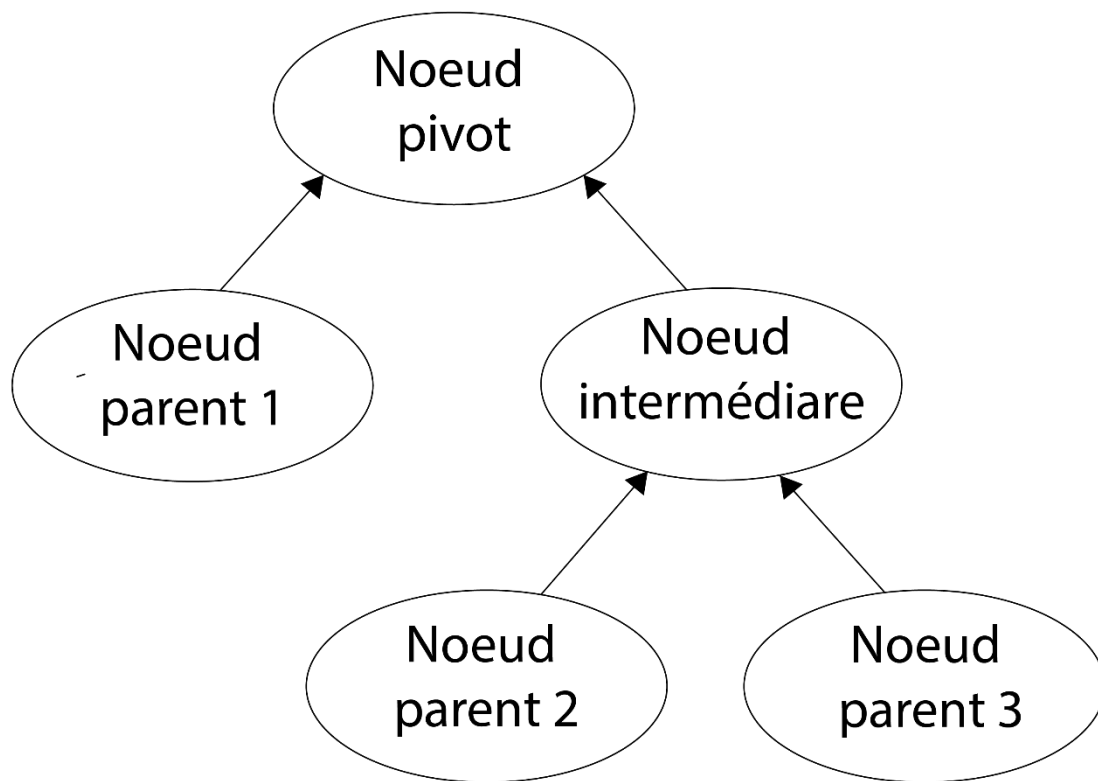


Figure IV.5: Exemple d'une structure d'AdD.



**Figure IV.6:** Réseau bayésien obtenu à partir de la figure IV.3.

#### IV.5.2 Transformation quantitative

- Les valeurs de probabilité des nœuds parents sont les mêmes que celles des événements de base dans l'AdD ;
- Les portes logiques « ou » et « et » dans l'AdD correspondent à une table de probabilité conditionnelle équivalente dans le RB.

D'après l'exemple qui a indiqué la structure de l'AdD dans la Figure IV.5, on va présenter les tableaux suivants nommés « les tables de probabilité conditionnelles » des portes logiques « ou », « et » et « k-sur-n ».

**Tableau IV.2 :** Table de probabilité conditionnelle de la porte logique « Ou »

Nœud parent 2	OUI		NON	
Nœud parent 3	OUI	NON	OUI	NON
OUI	1	1	1	0
NON	0	0	0	1

**Tableau IV.4 :** Table de probabilité conditionnelle du nœud pivot

Nœud parent 1	OUI				NON			
Nœud parent 2	OUI		NON		OUI		NON	
Nœud parent 3	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON
OUI	1	1	1	1	0	0	0	0
NON	0	0	0	0	1	1	1	1

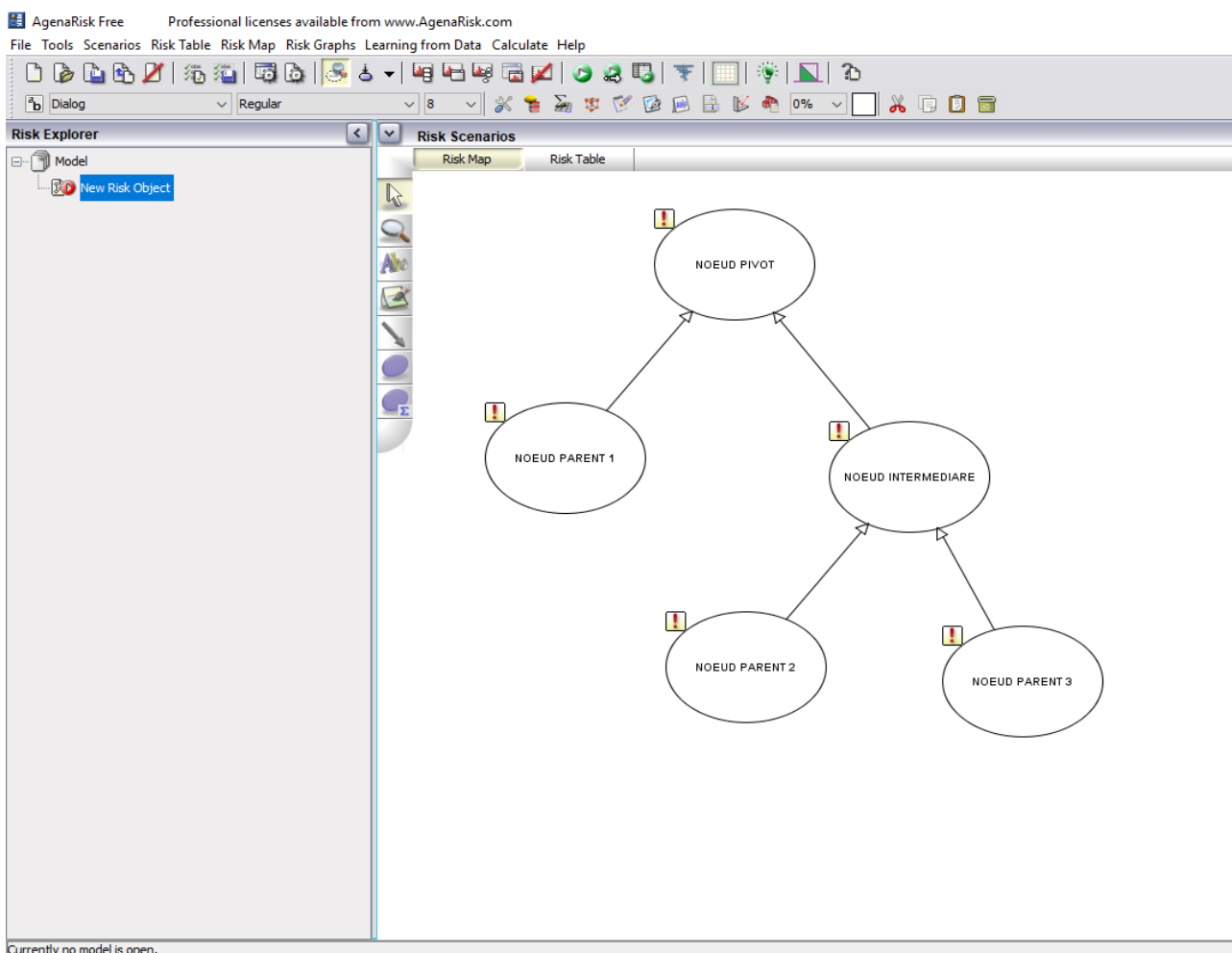
#### IV.6 Description du logiciel

Après la reconnaissance des causes de «la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 » par la méthode de l'arbre de défaillance, on passe à la deuxième étape de notre étude. C'est la modélisation pour avoir une représentation graphique détaillée. Pour notre travail on a choisi le logiciel « AgenaRisk » comme un outil de modélisation et pour la quantification du risque de « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage ».

Le logiciel « AgenaRisk » a été développé par la société AgenaRisk. C'est un logiciel de réseau bayésien pour les applications d'analyse des risques, d'Intelligence Artificielle (IA) et de prise de décision. Il utilise les derniers développements du domaine de l'IA bayésienne et du raisonnement probabiliste pour modéliser des problèmes complexes et risqués, ainsi qu'améliorer la prise de décision.

On peut utiliser les modèles AgenaRisk pour faire des prédictions, effectuer des diagnostics et prendre des décisions en combinant des données et des connaissances sur des dépendances causales complexes et d'autres dépendances dans le monde réel.

En utilisant AgenaRisk pour modéliser une variété de problèmes impliquant des risques et des incertitudes, notamment le risque opérationnel, le risque d'analyse du renseignement, le risque sanitaire, le risque de cyber sécurité, la planification financière stratégique, la sécurité et la fiabilité des systèmes [22].



**Figure IV.7:** La surface du logiciel AgenaRisk [22]

#### IV.7 Structure du RB à partir de l'AdD

Nous avons construit la structure du Réseau Bayésien à partir de l'Arbre de Défaillance d'après l'organigramme de la transformation de l'AdD en RB (figure IV.4) et à l'aide du logiciel « AgenaRisk ».

En premier lieu, il faut sélectionner les symboles ressemblants sur la barre d'outils verticale, en cliquant sur les cercles pour créer les nœuds et les flèches afin de les lier entre eux (les cercles). En outre, pour calculer la probabilité on a mis les probabilités d'occurrence de chaque nœud parent qui sont indiqués dans le tableau ci-dessous (Tableau IV.5). Après, on a entré probabilité

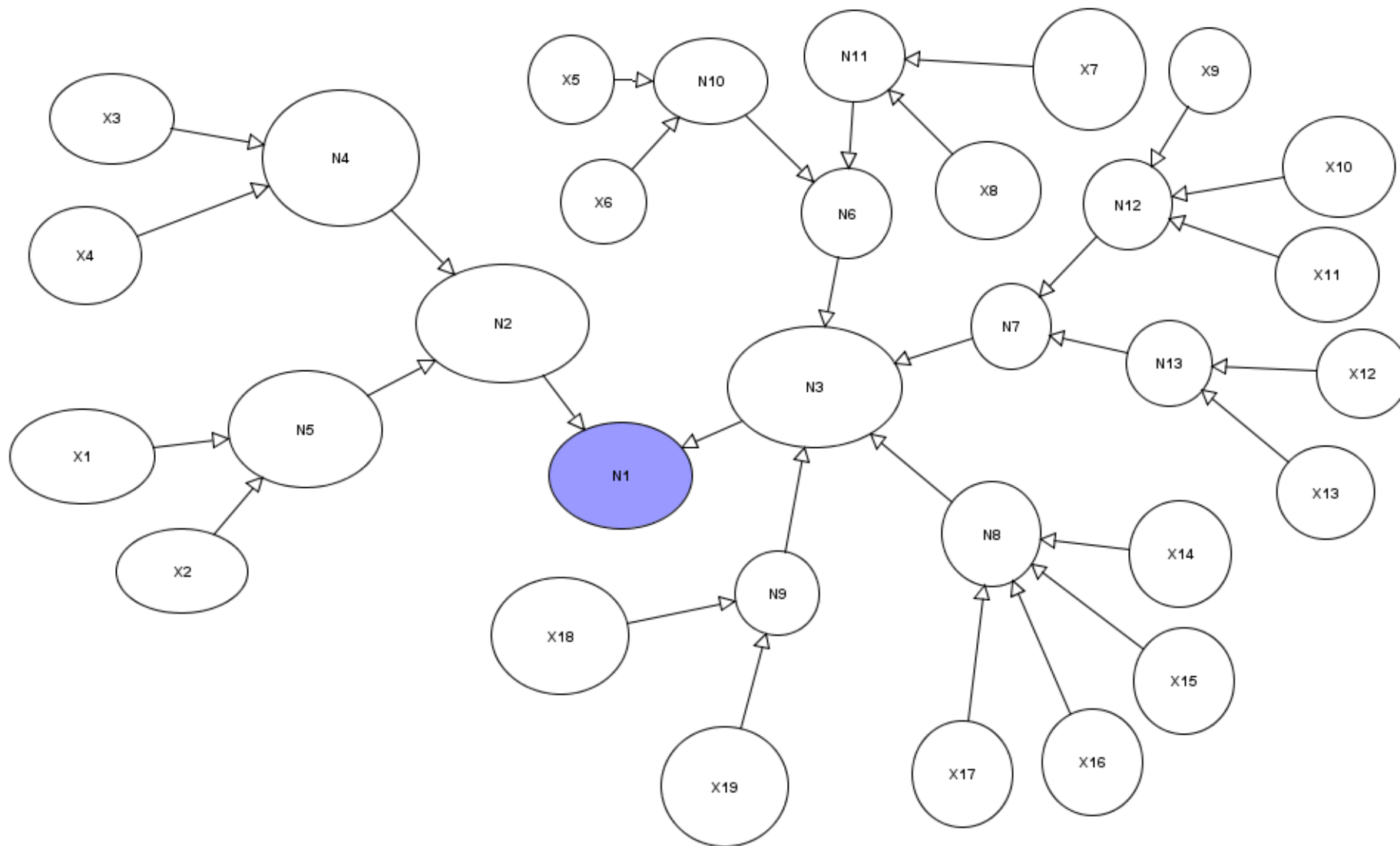
Conditionnelle dans les tableaux en fonction des portes logiques de l'AdD (et/ou) et à la fin on a lancé le calcul de probabilité en appuyant sur le bouton « RUN ».

On a pris les valeurs de probabilité d'occurrence comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous, selon les avis d'experts de l'exploitation, de la sécurité et de la maintenance, au cours de notre stage au niveau du complexe RTE Skikda.

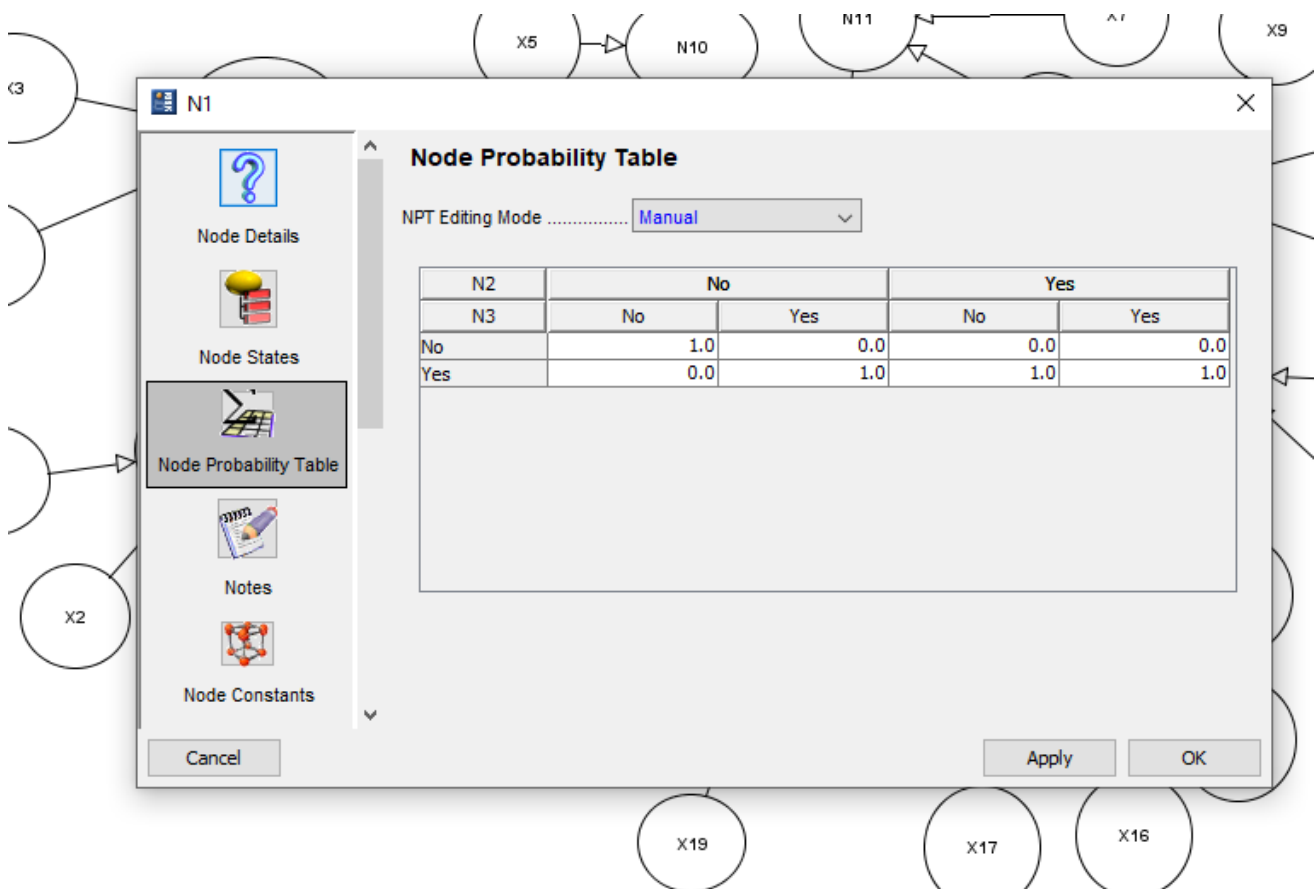
**Tableau IV.5** : Probabilités d'occurrence des événements de base de l'AdD.

Codes	Événements basique	Probabilité d'occurrence
X1	ITC ( inducature temperature controler )défaillant	$10^{-2}$
X2	Erreur opérateur de salle de veille	$10^{-1}$
X3	Manque de pression d'azote	$10^{-2}$
X4	Fuite de bouteille d'azote	$2 \times 10^{-2}$
X5	Accumelation de poussière	$10^{-2}$
X6	Obturation de déversoirs et orfices entré d'air	$10^{-2}$
X7	Manque entretien périodique	$10^{-2}$
X8	Changements climatique	$2 \times 10^{-2}$
X9	Fuite au niveau de réseau anti-incendie	$2 \times 10^{-2}$
X10	Obturation des buses	$10^{-2}$

X11	Insuffisant d'entretien	$10^{-2}$
X12	Corrosion interne ou externe	$2 \times 10^{-2}$
X13	Chocs mécaniques	$2 \times 10^{-2}$
X14	Blocage de la vanne arrivé eau	$10^{-2}$
X15	Pas d'expédition d'émulseur	$10^{-2}$
X16	Défaut de dosage	$10^{-3}$
X17	Clomptage de l'émulseur à l'intérieure la tuyauterie	$2 \times 10^{-2}$
X18	Dépôt et sédiments	$10^{-2}$
X19	corrosion interne ou externe	$2 \times 10^{-2}$



**Figure V.8:** Structure du Réseau Bayésien pour « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage ».



**Figure V.9** : Table de probabilité conditionnelle de « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 ».

#### IV.8 Synthèse

Les résultats pris par l'approche bayésienne présentent que :

- Probabilité que l'événement sommet (N1) « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage » se produise est égale à 21,653% (figure V.10) ;
- Probabilité de la défaillance de détection (N2) est 3,077% ;
- Probabilité de la défaillance d'extinction (N3) ait lieu est 19,166%.

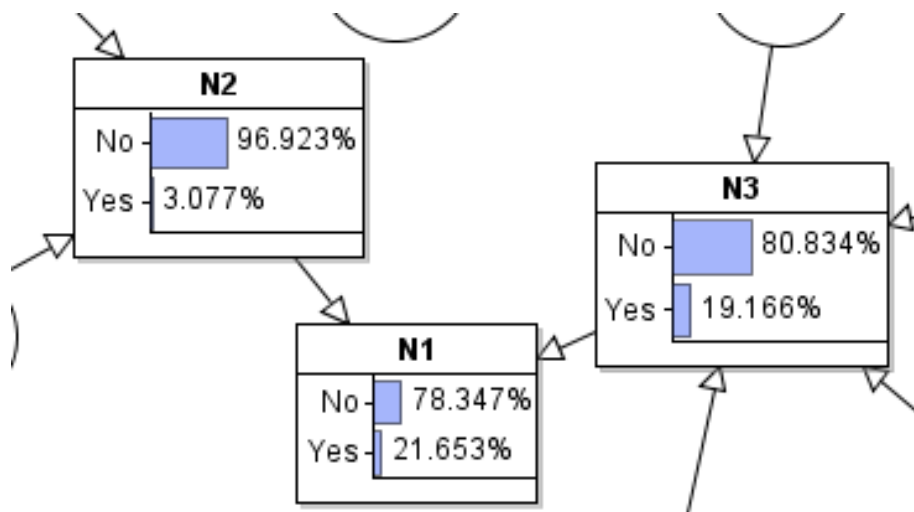


Figure IV.11 : Pourcentages des probabilités pour N1, N2, N3.

### IV.9 Simulation

Après le résultat pris par le logiciel à propos de la probabilité de l'événement indésirable « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 » qui est égal à 21,653%, on a fait une autre simulation, d'après l'avis d'expert pour voir la fiabilité du système dans 15 ans, A chaque 5 ans on lance le calcul pour avoir le résultat afin de trouver les événements basiques qui ont le plus grand impact sur le système étudié. Comme il est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Les probabilités d'occurrence dans 15 ans

Codes	Probabilité d'occurrence Dans 5 ans	Probabilité d'occurrence Dans 10 ans	Probabilité d'occurrence Dans 15 ans
X1	$2.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$10^{-1}$
X2	$10^{-1}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$
X3	$4.10^{-2}$	$4.10^{-2}$	$10^{-1}$
X4	$2.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$10^{-1}$
X5	$10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$4.10^{-2}$
X6	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$3.10^{-2}$
X7	$10^{-2}$	$2.10^{-2}$	$2.10^{-2}$

X8	$3.10^{-2}$	$4.10^{-2}$	$10^{-1}$
X9	$2.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$3.10^{-2}$
X10	$10^{-2}$	$2.10^{-2}$	$2.10^{-2}$
X11	$10^{-2}$	$2.10^{-2}$	$2.10^{-2}$
X12	$4.10^{-2}$	$6.10^{-2}$	$10^{-1}$
X13	$2.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$5.10^{-2}$
X14	$2.10^{-2}$	$4.10^{-2}$	$10^{-1}$
X15	$10^{-2}$	$2.10^{-2}$	$2.10^{-2}$
X16	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$
X17	$3.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$4.10^{-2}$
X18	$3.10^{-2}$	$3.10^{-2}$	$4.10^{-2}$
X19	$4.10^{-2}$	$5.10^{-2}$	$10^{-1}$

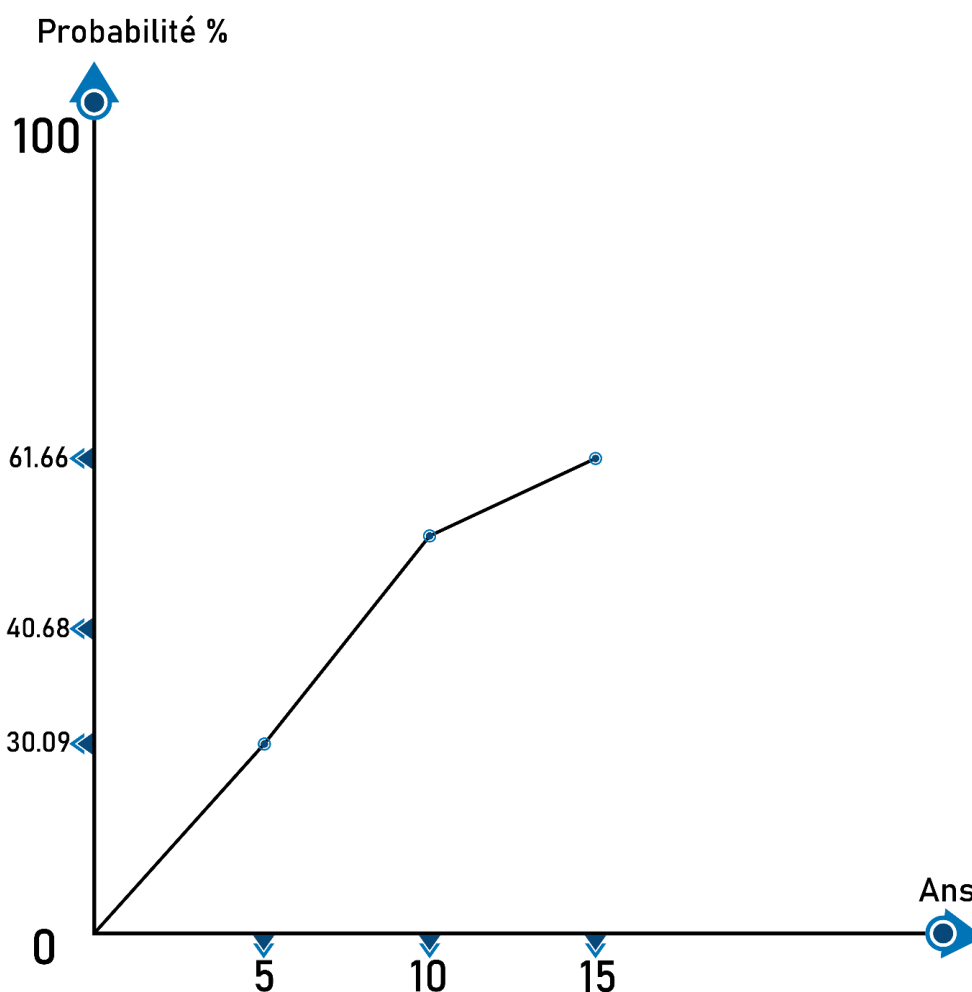


Figure IV.10 : Une courbe graphique montrant la détérioration des probabilités sur 15 ans

Tableau IV.7: Classification des événements basiques les plus influents dans «la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 »

N°	Codes	Événements basiques
01	X16	Défaut de dosage
02	X1	ITC ( inducature temperature controler ) défaillant
03	X3	Manque de pression d'azote
04	X5	Accumulation de poussière

05	X7	Manque d'entretien périodique
06	X6	Obturation de déversoirs et orifices entré d'air
07	X10	Obturation des buses
08	X11	Insuffisant d'entretien
09	X14	Blocage de la vanne arrivé eau
10	X18	Dépôt et sédiments
11	X4	fuite de bouteille d'azote
12	X8	Changements climatique
13	X9	Fuite au niveau de réseau anti-incendie
14	X12	Corrosion
15	X13	Chocs mécaniques
16	X15	Pas d'expédition d'émulseur
17	X17	Comptage de l'emulseur à l'intérieur de la tyauterie
18	X19	Corrosion interne ou externe
19	X2	Erreur opérateur de salle de veille

#### IV.8.1 Interprétation

D'après notre étude et nos résultats liés à la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108, et la courbe graphique du 15 ans nous avons remarqué que la courbe au début elle a développé d'une manière rapide et avec le temps elle commence d'être constante et il y a des événements basiques tels que l'erreur humaine et d'autres sont constants ou bien se

diminuer à cause de retour d'expérience et le développement de la technologie et la maintenance et nous avons trouvé que les événements de base les plus critiques qui participent directement à l'occurrence de l'événement indésirable sont :

- Défaut du dosage
- ITC ( inductance temperature controler ) défaillant
- Manque de pression d'azote
- Accumulation de poussière
- Manque d'entretien périodique

### V.9.2 Recommandations

Pour renforcer le niveau de sécurité de l'équipement, nous recommandons :

- Mise en service des programmes de maintenance pour les ITC à forte probabilité de défaillance, et ces programmes doivent être renforcés par des inspections régulières pour aider à détecter les défaillances à un stade précoce ;
- Pour mieux prévenir les erreurs humaines, il est nécessaire de bien former les opérateurs (exploitation, maintenance, sécurité, ...) et d'améliorer leurs connaissances en HSE en les sensibilisant aux risques liés aux bacs de stockage ;
- Respecter les conditions de base recommandées par le fabricant, c'est-à-dire maintenir l'équipement en bon état ;
- Fournir un programme d'entretien préventif robuste pour tous les équipements.

### IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les causes de «la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 » par la méthode de l'Arbre de Défaillance. Après nous avons abordé les fondements théoriques des réseaux bayésiens, les propriétés et les types, en particulier les modèles de réseaux bayésiens, dans le domaine de fiabilité ainsi que les méthodes de construction de ces derniers et leurs mécanismes. Ceci nous a permis de rendre compte des rôles des Réseaux Bayésiens surtout dans le domaine industriel afin d'accélérer la prise de décision. Ensuite, on a converti l'AdD en Réseau Bayésien pour calculer le pourcentage de probabilité de l'événement sommet en utilisant les tables de probabilité et les avis d'experts dans les probabilités d'occurrence des événements de base. Après d'autres simulations nous avons pu déterminer les événements basiques les plus influents afin de pouvoir les cerner d'où nos recommandations pour améliorer la sécurité du système étudié.

# **Conclusion générale**

Lors de la réalisation de ce mémoire, sur la base des recherches menées, l'accent a été mis sur l'utilisation d'une approche Réseau Bayésien en utilisant les problèmes posés par l'identification des risques associés au système que nous avons étudié (la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 au niveau de RTE Skikda) par l'utilisation de l'intelligence artificielle comme outil d'aide à la prise de décision dans le domaine de la sécurité opérationnelle.

Étant donné que les réseaux bayésiens sont considérés comme une méthode d'analyse probabiliste des systèmes et de leurs composants, ils sont souvent utilisés pour d'autres recherches en raison de leur efficacité visuelle et conceptuelle afin de représenter les relations entre les défaillances et les pannes d'un système.

Nous avons d'abord débuté par une description générale de RTE Skikda et ses installations, ensuite dans le deuxième chapitre nous avons évoqué quelques méthodes d'analyse prévisionnelle des risques, tout en essayant de les situer selon leurs types et domaine d'application. Dans le troisième chapitre, on a présenté le système étudié et son analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle ainsi que l'identification des Barrières de Sécurité au niveau RTE.

La partie théorique de ce mémoire a été finalisée par la partie pratique (chapitre quatre) dans laquelle, on a appliqué l'approche bayésienne comme méthode d'analyse des risques. On a commencé d'abord par l'Arbre de Défaillance pour déterminer les causes de « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 », puis on a parlé de notre méthode RB, sa construction et son rôle dans le calcul de la fiabilité. Après, on a converti l'AdD en Réseau Bayésien à l'aide du logiciel « AgenaRisk » pour la modélisation, ainsi que l'utilisation de l'inférence bayésienne pour l'obtention des facteurs d'importances probabilistes et de découvrir les événements basiques les plus influents sur l'événement sommet. Les résultats obtenus par l'approche bayésienne montrent que :

- Probabilité que l'événement sommet (N1) « la défaillance du système détection extinction du bac de stockage S108 » se produise est égale à 21,653 %.
- Les événements de base les plus critiques qui contribuent directement à l'occurrence de l'événement indésirable sont :
  - Défaut du dosage ;
  - ITC ( inducture temperature controler ) défaillant ;
  - Manque de pression d'azote ;

## Conclusion générale

- Accumulation de poussière ;
- Manque d'entretien périodique.

Enfin, nous concluons notre travail par des recommandations pour améliorer le niveau de sécurité des dispositifs étudiés.

De manière générale, on peut dire que les méthodes de réseaux bayésiens sont efficaces pour l'analyse des risques. En effet, il est si simple d'utilisation que nous l'avons choisi pour notre étude, et il est si flexible qu'il s'adapte bien à divers domaines.

# **Bibliographies**

## Bibliographies

- [1] BOUCHEBBAT, S. Évaluation des risques au niveau d'un ballon accumulateur de GPL à l'aide des méthodes HAZOP et AdD. Mémoire de master 2. Université 20 Août 1955 – Skikda.
- [2] Samia ROUMANE, LA PROTECTION CIVILE FACE AUX RISQUES CHIMIQUES, mémoire fin d'étude. Ecole Nationale Polytechnique.
- [3] Document manuelle de l'entreprise, SONATRACH RTE (TRC Skikda).
- [4] Rapport d'étude : Etude de dangers (EDD) du Terminal GK1/GK2 SONATRACH – RTE 30 mars 2011.
- [5] Procédure d'intervention incendie de réservoir de pétrole brut du parc de stockage – RTE / Skikda.
- [6] « Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35) Ω-7, Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle », rapport d'étude INERIS n° INERIS-DRA-2006-p46055-cl47569, Octobre 2006.
- [7] « Guide de l'état de l'art sur les silos pour l'application de l'arrête ministériel relatif aux risques présentes par les silos et les installations de stockage de céréales, de gains, de produits alimentaires ou de tout autres produit organique dégageant des poussières inflammables » INERIS DRA-Fva/MRe ,2005.
- [8] [www.previnform.net/sections.php?op=viewarticle&artid=41](http://www.previnform.net/sections.php?op=viewarticle&artid=41) le 18/05/2023
- [9] G.Zwingelstein, « Diagnostic des défaillances », Editions HERMES,Paris,1995.
- [10] Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle. Rapport d'étude. L'institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.
- [11] <https://www.arbre-analyste.fr/> le 20/05/2023
- [12] Sécurité des systèmes – analyse de risques. Institut français de pétrole.
- [13] Manuel opératoire d'exploitation **TOME I** - 1971 « SONATRACH – SNAM PROGETTI - Italie « Oléoduc HAUD EL HAMRA-SKIKDA »
- [14] ENSPM Formation en sécurité industriel 2008 - IFP Training BE MTU - 01730\_A\_F - Rév. 2 08/08/2008.

- [15] Etude de dangers (EDD) du Terminal GK1/GK2  
SONATRACH – RTH (**Rapport préliminaire** RAPPORT D'ÉTUDE  
N° DRA- 10-95868-08629 A SKIKDA – ALGERIE 2013) réaliser par : Guillaume Leroy.
- [16] BADORIS- Document de Synthèse Relatif à des Barrières techniques de Sécurité  
(B.T.S) INERIS DRA-11-117743-13772A.
- [17] JENSEN, F. Causal and Bayesian networks. In: Bayesian networks and decision graphs.  
Springer, New York, NY, 2001.
- [18] DAWID, A. Philip. Conditional independence in statistical theory. Journal of the Royal  
Statistical Society: Series B (Methodological), 1979.
- [19] GEIGER, D. ET PEARL, J. Logical and algorithmic properties of independence and their  
application to Bayesian networks. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 1990.
- [20] [www.techno-science.net/definition/6374.html](http://www.techno-science.net/definition/6374.html) le 04/04/2023
- [21] NAÏM, P, WUILLEMIN, et al. Réseaux bayésiens. Eyrolles, Paris, 1999.
- [22] <https://www.agenarisk.com/> le 28/05/2023