

N° Ordre .....Département/Faculté/UMBB/2019

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



**Université m'hamed Bougara-Boumerdés**

**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**

**Département : Génie des procédés**

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master**

**Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle**

**Thème :**

Utilisation de l'Arbre de défaillance (AdD) et de l'Arbre des événements (AdE) comme outil d'Analyse des risques

Cas : Chaudière à vapeur SAIDAL Dar El Beida

**Réalisé par :**

- AZIZI Imane
- NEDJAR Nour El Houda

**Promoteur :**

BEN MOKHTAR Amine

**Co- Promotrice**

MEDJAHED Selma

**Membres du jury**

Nom & Prénom	Grade	Qualité

**Soutenu publiquement le : 18 / 06 /2019**

**Promotion : 2018/2019**

## *Remerciement*

Pour commencer, nous souhaitons adresser nos premiers remerciements au seigneur « ALLAH » le tout puissant qui nous a fourni le courage et les capacités pour accomplir ce travail.

Nos sincères remerciements à nos encadreurs, Monsieur BEN MOKHTAR Amine et Madame MEDJAHED Selma pour leurs disponibilités, leurs suivis et leurs conseils prodigués tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Nous tenons à remercier toute l'équipe et les professeurs du département génie des procédés et particulièrement les professeurs de la filière hygiène et sécurité industrielle qui nous ont accompagné durant les trois années d'étude.

Tous nos remerciements s'adressent à Monsieur ZAHY DJAMEL, Chef de département sécurité et environnement QHSE du groupe industriel unité DE SAIDAL, pour son accompagnement et son soutien durant la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tous les employés de l'entreprise SAIDAL, monsieur ZEGAOUI OMAR, monsieur BISAOU, monsieur AZAZNI et monsieur AMGHARO pour toutes les informations nécessaires qu'ils nous ont fournies pour la bonne conduite de ce travail.

Nos remerciements également à tous les responsables et les travailleurs de l'entreprise d'ECFIRAL pour toutes les informations qu'ils nous ont données.

Nous n'oublions pas de remercier tous nos professeurs du primaire, secondaire et lycée, qui nous ont accompagnés durant notre cursus scolaire.

Enfin, nous adressons nos chaleureux remerciements et gratitude à nos famille et amis, nos proches et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A toutes ces personnes, Nous présentons nos sincères remerciements, notre respect et notre gratitude.

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la fleur de ma vie...ma très chère mère en témoignage de ma*

*Profonde et ma grande reconnaissance pour sa tendresse, sa patience, ces sacrifices tout au  
long de ma vie.*

*Très cher père qui a sacrifié sa vie pour qu'on puisse se retrouver à ce niveau et qui m'a été  
source de réussite.*

*À mon mari pour son soutien et sa patience avec moi*

*A mes frères*

*A ma chère sœur Hourhane*

*A toute ma nouvelle famille*

*A Toute ma famille.*

*A tous mes amis et tous ceux que je garde dans mon cœur.*

*À tous mes amis de la promo 2018/2019 d'hygiène et sécurité industrielle.*

*Nedjar Hour Elhouda*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A celle Qui était la raison de ma présence dans cette vie ... Ma chère mère, رحمة الله*

*Malgré son absence, mais elle a le mérite de mon arrivée à ce que je suis maintenant, à quel point elle souhaitait voir le succès de ce projet et à quel point votre absence était pénible grande reconnaissance à toi ma chère*

*Et ma grande reconnaissance mon père qui a sacrifié sa vie pour qu'on puisse se retrouver à ce niveau et qui a toujours été ma source de réussite.*

*A mes chères Sœurs Sabrina et Mona, Dawna et mes Frères Hour El islam  
Sadak et Wassim*

*A la joie de ma vie, les filles de ma sœur Asil et Rodayna*

*A Toute ma famille.*

*A tous mes amis et tous ceux que je garde dans mon cœur.*

*À tous mes amis de la promo 2018/2019 d'hygiène et sécurité industrielle.*

*Azizi Imane*

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة مدى نجاح حواجز السلامة على مستوى مصنع صيدال للأدوية بالدار البيضاء بهدف التحكم في المخاطر.

بعد قيامنا بالتحليل النقدي لوثيقة دراسة الخطر الموجودة على مستوى المصنع توصلنا إلى أن منطقة التسخين هي المنطقة الأكثر احتمالية لحدوث خطر الاحتراق أو الانفجار، ولتحديد موقع الخطر بدقة قمنا باستعمال طريقة التحليل الوظيفي لتجزئة الجهاز المسؤول عن التسخين وهو جهاز المرجل البخاري والهدف من هذه الطريقة هو تقسيم الجهاز إلى عدة انظمة قصد تسهيل تحديد النظام الأكثر تعرضا لاحتمالية حدوث الخطر بعدها قمنا بطريقة التحليل الأولي لمختلف السيناريوهات ذات صلة للحوادث الممكن وقوعها هذا من جهة ومن جهة أخرى قمنا بتقييم النتائج المتحصل عليها وتحديد الأكثر خطرا والأكثر حدوثا , وهذا ما يمكننا من تحديد الطريقة التي تناسب هذه الحوادث وهي طريقة شجرة الخطأ وتليها طريقة شجرة الحوادث(, طريقان متكاملتان) بهدف تحديد قيمة النقد بدقة و الحواجز الوقائية المناسبة وفي الأخير قمنا بإجراء محاكاة باستخدام برنامج خاص لتحديد المنطقة الأكثر تأثرا بالحادثة في حالة وقوعه.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل النقدي – التحليل الوظيفي -المرجل البخاري -التحليل الأولي -شجرة الخطأ -شجرة الحوادث

## Résumer

L'objectif de ce travail est d'examiner le succès des barrières de sécurité au niveau des usines pharmaceutiques SAIDAL Dar El Beida afin de contrôler les risques.

Après avoir procédé à une analyse critique de l'étude de danger que nous avons eu sur le groupe pharmaceutique, cette dernière a fait ressortir que la chaudière est le principal équipement présentant un risque de combustion ou d'explosion. On suit nous avons utilisé la méthode Analyse fonctionnelle pour décomposer la chaudière à vapeur à des sous-systèmes, afin de faciliter l'identification du système le plus vulnérable au risque de danger, nous avons ensuite évalué les résultats obtenus et identifié les plus dangereux et les plus fréquents par la méthode d'analyse fonctionnelle : il est possible de déterminer la méthode adaptée à ces incidents, à savoir la méthode de l'arbre d'erreur suivie de la méthode de l'arbre des accidents (deux voies). Afin de déterminer avec précision les barrières de protection appropriées, nous avons finalement effectué une simulation à l'aide d'un programme spécial afin de déterminer la zone la plus touchée par l'incident le cas échéant.

**Mots-clés :** analyse critique - analyse fonctionnelle - chaudière à vapeur - analyse initiale - arbre d'erreur - arbre d'accident

## Abstract :

The purpose of this work is to examine the success of safety barriers at the level of pharmaceutical factories SAIDAL Dar El Beida to control risks.

After conducting a critical analysis of the hazard study that we had on the pharmaceutical group, it revealed that the boiler is the main equipment with a risk of combustion or explosion. We followed the functional analysis method to decompose the steam boiler to subsystems, in order to facilitate the identification of the system most vulnerable to the risk of danger, we then evaluated the results obtained and identified by the functional analysis method the most dangerous and the most frequent: it is possible to determine the appropriate method for these incidents, namely the error tree method followed by the accident tree method ( two ways). In order to accurately determine the appropriate protective barriers, we finally performed a simulation using a special program to determine the area most affected by the incident if any.

**Keywords :** critical analysis - functional analysis - steam boiler - initial analysis - error tree - accident tree,n

## Liste d'abréviation

---

- **ARIA**      **Analyse, Recherche et Information sur les Accidents**
- **APR**      **Analyses Préliminaires des risqué**
- **Add**      **Arbre de défaillance**
- **AdE**      **Arbre d'évènement**
- **ED**      **Elément dangereux**
- **EDD**      **Etude De Danger**
- **ERC**      **Evènement redouté central**
- **EM**      **Évènement Majeur**
- **Ei**      **Évènement Indésirable**
- **ER**      **Évènement Redouté**
- **EI**      **Évènement Initiateur**
- **LIE**      **La Limite Inférieure d'Explosivité**
- **LSE**      **La Limite Supérieure d'Explosivité**
- **OHSAS**      **Services Consultatifs sur la Santé et la Sécurité au Travail**
- **REX**      **Retour d'expérience**
- **SDC**      **Sal de Control**
- **SD**      **Situation Dangereuse**
- **SS**      **Sous-système**
- **SADT**      **Analyse Structurée et Technique de Conception**

# Liste des matières

---

<b>Table des matières</b>	
<b>Liste d'abréviation</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Introduction</b>	
<b>Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie</b>	
<b>I.1. Grands accédant de domaine pharmaceutique</b>	<b>1</b>
<b>I.2. Principaux risques dans les industries pharmaceutiques</b>	<b>4</b>
<b>I.3. Présentation de l'entreprise</b>	<b>5</b>
<b>I.4. Chaudière à vapeur</b>	<b>15</b>
<b>I.5. Problématique</b>	<b>22</b>
<b>I.6. Méthodologie</b>	<b>23</b>
<b>Chapitre II : Notions et outils d'analyse des risques</b>	
<b>II.1. Notions et concepts de base</b>	<b>26</b>
<b>II.2. Classification des risques industriels</b>	<b>27</b>
<b>II.3. Notions de danger</b>	<b>28</b>
<b>II.4. Notions de dommage</b>	<b>28</b>
<b>II.5. Notions de Phénomène dangereux</b>	<b>28</b>
<b>II.6. Notions de Système</b>	<b>28</b>
<b>II.7. Scénarios d'accidents majeurs</b>	<b>28</b>
<b>II.8. Explosion</b>	<b>29</b>
<b>II.9. Notion de sécurité</b>	<b>30</b>
<b>II.10. Sécurité fonctionnelle</b>	<b>31</b>
<b>II.11. Processus de gestion des risques</b>	<b>32</b>
<b>II.12. Notion d'Analyse des risques</b>	<b>32</b>
<b>II.13. Évaluation des risques</b>	<b>33</b>
<b>II.14. Barrières de sécurité</b>	<b>34</b>
<b>II.15. Outils d'analyse des risques</b>	<b>35</b>
<b>Chapitre III : Applications des méthodes d'analyse des risques</b>	
<b>III.1. Analyse critique de l'étude de danger (EDD)</b>	<b>46</b>
<b>III.2. Méthode SADT</b>	<b>53</b>
<b>III.3. Analyse préliminaire de risque (APR)</b>	<b>54</b>
<b>III.4. Arbre de défaillance (AdD)</b>	<b>61</b>
<b>III.5. Interprétation des résultats (AdE)</b>	<b>64</b>
<b>III.6. Barrières de sécurité existant dans notre chaudière</b>	<b>64</b>
<b>Chapitre IV : simulation des effets et actions de maîtrise</b>	
<b>IV.1. Définition</b>	<b>67</b>
<b>IV.2. Avantages de l'utilisation</b>	<b>67</b>
<b>IV.3. Modélisation des conséquences</b>	<b>68</b>
<b>IV.4. Application de PHAST</b>	<b>68</b>
<b>IV.5. Résultat</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion</b>	
<b>Référence bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

# Liste des figures

---

## Liste des figures

<b>Figure I.1 : L'entrée de l'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>6</b>
<b>Figure I.2. : Délimitation du rayon d'affichage</b>	<b>8</b>
<b>Figure I.3 : Situation de l'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>9</b>
<b>Figure I.4 : Plan de masse d'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>9</b>
<b>Figure I.5 : Organisationnel de l'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>10</b>
<b>Figure I.6 : Les étapes du prétraitement</b>	<b>12</b>
<b>Figure I.7 : Fabrication de chaudière à vapeur</b>	<b>14</b>
<b>Figure I.8 : Chaudière à vapeur de l'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>15</b>
<b>Figure I.9 : Décomposition fonctionnelle de la chaudière</b>	<b>16</b>
<b>Figure I.10 : Technique de fonctionnement de chaudière</b>	<b>17</b>
<b>Figure I.11 : Fonctionnement de chaudière</b>	<b>19</b>
<b>Figure I.12 : Démarche de méthodologique</b>	<b>24</b>
<b>Figure II.1 : Processus de la gestion des risques.</b>	<b>31</b>
<b>Figure II.2 : Barrières de sécurité de prévention et de protection</b>	<b>34</b>
<b>Figure II.3 : Méthode SADT</b>	<b>37</b>
<b>Figure II.4 : Niveaux de l' SADT</b>	<b>37</b>
<b>Figure II.5 : Sous- niveau de l'SADT</b>	<b>38</b>
<b>Figure II.6 : Exemple d'une l'Add</b>	<b>41</b>
<b>Figure II.7 : Modèle d'un arbre des évènements</b>	<b>45</b>
<b>Figure III-1 : Analyse critique des EDD</b>	<b>48</b>
<b>Figure III-2 : Identification et décomposition des EDD</b>	<b>49</b>
<b>Figure III.3 : Application de SADT</b>	<b>53</b>
<b>Figure III.4 : Sous-système de chaudière</b>	<b>54</b>
<b>Figure III.5 : Niveaux des risques avant les barrières de sécurité</b>	<b>58</b>
<b>Figure III.6 : Niveaux des risques après les barrières de sécurité</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.7. : Application de méthode AdD</b>	<b>63</b>
<b>Figure III.8 : Application de méthode AdE</b>	<b>64</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure III.9 : Détecteur de niveau d'eau</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.10 : Sirène.</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.11 : Armoire électrique</b>	<b>66</b>
<b>Figure IV.1 : distances des effets de l'explosion de chaudières</b>	<b>69</b>

# Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 : les informations de Chaudière à Vapeur BABCOCK</b>	<b>17</b>
<b>Tableau I.2 : Éléments constitutifs la chaudière</b>	<b>18</b>
<b>Tableau I.3 : Les informations de chaudière à vapeur STEAMBLOC</b>	<b>18</b>
<b>Tableau II.1 : Finalité et typologie de quelques méthodes d'analyse des risques</b>	<b>35</b>
<b>Tableau II.2 : Méthode APR</b>	<b>39</b>
<b>Tableau II.3 : Syntaxe de l'arbre de défaillance</b>	<b>43</b>
<b>Tableau III.1 : Identification des insuffisances de l'EDD de l'usine SAIDAL Dar El Beida</b>	<b>50</b>
<b>Tableau III.2 : classement des insuffisances sous forme d'écourtant</b>	<b>52</b>
<b>Tableau III.3 : Hiérarchisation des évènements redoutés</b>	<b>55</b>
<b>Tableau III.4 : Moyenne de criticité avant et après les mesures de sécurité</b>	<b>58</b>
<b>Tableau III.5 : Les risques dans la grille de criticité après les mesures de préventions</b>	<b>61</b>
<b>Tableau IV.1 : Seuil de suppression donnée le logiciel PHAST</b>	<b>70</b>

# Introduction

---

L'industrie pharmaceutique est le secteur économique stratégique qui regroupe les activités de recherche, de fabrication et de commercialisation des médicaments pour la médecine humaine ou vétérinaire. C'est une des industries les plus rentables et importantes économiquement dans le monde. Cette activité est exercée par les laboratoires pharmaceutiques et les sociétés de biotechnologie et reste un secteur clé et un important moteur de croissance de l'économie mondiale. Néanmoins, ce secteur implique la manipulation de produits actifs chimiques ou biologiques, un process avec des machines en mouvement, de la vapeur sous haute pression...

La prévention des risques dans les industries pharmaceutiques repose sur des mesures collectives, comme des infrastructures adaptées (locaux, plans de travail, ventilation et dispositifs de captage des polluants), une automatisation par des opérations télécommandées et contrôlées à distance, des équipements et des règles d'hygiène (douches de sécurité, postes de rinçage oculaire, lavage des mains...).

L'évaluation et le management des risques HSE - Hygiène - Sécurité - Environnement sont des dispositifs incontournables pour mettre en place les moyens de prévention et de protection indispensables au bon fonctionnement de l'activité de production des médicaments.

D'après les différentes investigations et études, et en se basant sur les bases de données des retours d'expérience, nous constatons que les accidents industriels majeurs dans les industries pharmaceutiques sont généralement la conséquence d'un enchaînement d'événements indésirables combiné à des défaillances de barrières de sécurité.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous nous sommes intéressées aux risques majeurs créés par une chaudière dans une installation de fabrication des médicaments pharmaceutique SAIDAL Dar El Beida.

Pour cela nous avons commencé par une première analyse critique à l'étude de danger du site, suivi par la méthode de décomposition SADT (Structured Analysis Design Technic), c'est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive d'un ensemble quel qu'il soit on peut appliquer le SADT à la gestion d'une entreprise tout comme à un système automatisé, cette dernière nous permet de diviser notre système critique à des sous-systèmes.

Nous avons par la suite appliqué les méthodes d'analyse des risques suivantes :

- APR : Analyse Préliminaire des Risques qui est une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre. Cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire.

## Introduction

---

- ADD : Arbre de Défaillances, employée pour identifier les causes relatives aux événements redoutés. En partant d'un événement unique, il s'agit de rechercher les combinaisons d'événements conduisant à la réalisation de ce dernier.
- ADE : Arbre des évènements, (ou arbre des conséquences), elle est bien adaptée pour apprécier les risques dans des installations industrielles contenant de nombreux systèmes de sécurité, c'est une approche inductive mettant en évidence les facteurs pouvant influencer les séquences d'événements conduisant à un scénario d'accident.

Ces études sont primordiales pour analyser les risques et donner des barrières de sécurité permettant de diminuer leurs fréquences et leur gravité.

Et enfin nous avons finalisé cette étude par une simulation à l'aide du logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) qui est un outil d'analyse des risques de procédé. c'est un logiciel très souvent utilisé pour évaluer les situations présentant des risques potentiels pour le personnel, les installations et l'environnement, et pour mesurer la gravité de ces situations afin de déterminer les limites géographiques en cas d'accident.

# **Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie**

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

L'industrie pharmaceutique dans le monde entier est un élément important des systèmes de santé. Elle comprend de nombreux services et entreprises qui découvrent, mettent au point, fabriquent et commercialisent des médicaments au service de la santé. L'industrie pharmaceutique repose principalement sur la recherche et le développement de médicaments. Les progrès scientifiques et technologiques accélèrent la découverte et la mise au point de produits pharmaceutiques plus efficaces et aux effets secondaires réduits. Les spécialistes de biologie moléculaire et de chimie médicale et les pharmaciens améliorent les effets des préparations médicamenteuses en augmentant leur puissance et leur spécificité. Ces progrès suscitent néanmoins de nouvelles préoccupations pour la sécurité et la santé des travailleurs de l'industrie.

Les risques d'incendie et d'explosion sont présents dans la plupart des industries, y compris l'industrie pharmaceutique et en raison de leurs activités et de son utilisation des produits chimiques, qui est considéré comme l'un des accidents les plus dangereux au monde, en raison des dommages causés qu'ils soient matériels, humains ou environnemental, par la propagation des maladies, des bactéries et des virus dangereux comme exemple l'accident de Bhopal.

En Algérie, il y a plus que 500 centres de pharmacie et usines pharmaceutiques, Parmi ces usines, nous avons choisi un de sanciennes usines pharmaceutiques qui est l'unité pharml SAIDAL Dar El Beida, un des grands fabricants et distributeur des médicaments en Algérie.

## **I.1. Grands accidents de domaine pharmaceutique**

Dans le domaine de la sécurité, le retour d'expérience (REX) a une grande base de données permettant d'avoir toutes les informations relatives aux accidents avec leurs causes et conséquences et nous permettre par la suite de mettre en place les mesures de sécurité pour des accidents similaires.

### **I.1.1. Base de données (ARIA)**

La base de données ARIA (Analyse Recherche et Information sur les Accidents) exploitée par le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire répertorie les incidents, accidents qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement. Ces événements résultent :

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

- De l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages... classés au titre de la législation relative aux Installations Classées ;
- Du transport de matières dangereuses par rail, route, voie fluviale ou maritime ;
- De la distribution et de l'utilisation du gaz ;
- Des équipements sous pression ;
- Des mines et stockages souterrains ;
- Des digues et barrages.

## I.1.2. Principales sources d'information

L'objectif est d'enrichir et de fiabiliser les données mises à disposition du public par l'utilisation de sources d'information diversifiées :

- Les services de secours apportent des enseignements précieux sur la cinétique de développement du sinistre et les difficultés d'intervention rencontrées.
- L'inspection de l'Environnement recherche les causes des accidents.
- Les médias apportent un éclairage sur les réactions du public.
- Les organismes professionnels et les correspondants étrangers donnent des éléments de consolidation des informations recueillies. [1]

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi quelques accidents majeurs mondiaux dans le domaine pharmaceutique, à savoir :

- **1<sup>er</sup> Accident :**

ESPAGNE – MADRID en 13-01-1997 : Rejet de chlorure de triméthylamine et de chlorure d'hydrogène. (ARIA 10769).

Dans une usine pharmaceutique, un opérateur omet de fermer la vanne de remplissage d'un réservoir de triméthylamine (gaz comprimé liquéfié), utilisé dans la fabrication d'aliments, le tour de lavage des gaz ne absorber pas cette arrivée massive de gaz : 500 kg de chlorhydrate de triméthylamine et 500 kg de chlorure d'hydrogène sont rejetés.

Un épais nuage blanchâtre se forme, créant une grande confusion et une vive inquiétude parmi les habitants du quartier Nord de Madrid, les pompiers abattent le nuage avec l'eau. Une soixantaine de personnes sont hospitalisées pour observation. Un périmètre de sécurité est mis en place et accès au quartier fermés.

- **2<sup>ème</sup> Accident :**

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

En 01-09-1988 : Incident de chaudière suite à un manque d'eau dans un usine de Fabrication des préparations pharmaceutiques. (ARIA 7768)

Un manque d'eau dans le tube foyer d'une chaudière à tubes de fumées de 10 t/h de vapeur. La combustion est arrêtée par le chauffeur alors que ce tube foyer est proche de la rupture. Des dépôts consécutifs à la pollution de l'eau d'alimentation de la chaudière ont détérioré les mécanismes des 2 régulateurs de niveau bas (conçus selon le même principe), cette pollution est due à l'eau glycolée d'un échangeur dans le circuit de retour des condensats lors d'une erreur de manipulation par du personnel peu qualifié (intérimaires), ce qui a conduit à l'arrêt de la chaudière en définitivement endommagée est ferrillée.

- **3<sup>ème</sup> Accident :**

BELGIQUE – FLEURUS en 22-08-2008 : Rejet d'iode usine de fabrication des préparations pharmaceutiques (ARIA 35874).

Une fuite d'iode se produit lors du transfert d'un effluent liquide entre 2 cuves dans le laboratoire médical d'un institut spécialisé dans la production de radioéléments thérapeutiques. L'établissement est le 2ème producteur mondial de ces radioéléments commercialisés sous forme liquide pour être utilisés dans l'imagerie et le traitement des cancers. Le lundi, le personnel de l'institut constate un taux anormal d'isotopes dans une cheminée d'évacuation consécutif à la défaillance du système de filtration de l'établissement. L'agence fédérale belge de contrôle nucléaire (AFCN) alertée informe également l'autorité française correspondante (ASN). L'événement est présenté comme sans conséquence dans un 1er temps puis, après analyse de prélèvements d'herbes à proximité, les autorités mettent en garde la population quelques jours plus tard quant à d'éventuelles contaminations. A cet effet, la police diffusera des messages pour inviter les 20 000 habitants de la localité à ne pas consommer les fruits et légumes des jardins, l'eau de pluie, ainsi que le lait des fermes environnantes. Ces mesures concernent aussi plusieurs villages dans un rayon de 5 km du point de rejet. Des prélèvements d'air et d'eau fin août ne révélant plus aucune présence de radioactivité, ce rayon est ramené à 3 km.

L'enquête effectuée évalue le rejet total dans l'atmosphère à 45 GB sur 4 jours, soit la dose absorbée en une seule prise par 12 malades du cancer de la thyroïde. L'incident sera cependant coté au 3ème des 7 niveaux de l'échelle internationale des accidents nucléaires.

Une erreur de manipulation serait à l'origine de l'incident. Une défaillance de l'ordinateur gérant les alarmes est également évoquée. L'opérateur présent pensant à un « problème de

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

filtre » n'a pris aucune mesure particulière, laissant ainsi la production se poursuivre durant plus de 24 h. [2]

- **4<sup>ème</sup> Accident :**

**FRANCE en 06/11/1998 :** Explosion et incendie dans un atelier de production pharmaceutique

Traitement du distillat riche en cyclohexane arrive presque à son terme après oxydation sous atmosphère d'azote, neutralisation du milieu réactionnel, contrôle final, puis soufflage de la canalisation à l'azote, peu après l'ouverture de la vanne d'azote, une explosion se produit. Entendue à plusieurs kilomètres, elle brise les équipements du réacteur (disque de rupture, collecteurs...), ainsi que les vitres de l'atelier de 500 m<sup>2</sup>.

Un opérateur grièvement blessé par la chute d'une armoire électrique décèdera quelques heures plus tard, 2 employés sont blessés (brûlures aux chevilles et tympons) et 12 autres personnes non directement atteintes sont examinées par précaution. Hormis le bruit de l'explosion, aucune conséquence environnementale n'est observée. [3]

## I.2. Principaux risques dans les industries pharmaceutiques

Grâce à la production des médicaments, l'industrie pharmaceutique comme toutes les industries peuvent être exposées à plusieurs types d'accident et risques. Parmi les principaux risques nous citerons :

### I.2.1. Risque toxique

- Inhalation par voie respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires (rhinites, asthme...)
- Contact cutané et pénétration ou moins profonde à travers l'épiderme et le derme (dermites, lésions eczématiformes...);
- Ingestion par voie orale et déglutition ;
- Atteintes oculaires par projection de liquide (conjonctivites).

Les produits comportant un risque d'intoxication chronique peuvent être à l'origine de cancers ou de lésions hépatiques, rénales ou pulmonaires, ou agir sur le système nerveux ou le système endocrinien.

### I.2.2. Risques physiques

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

Le travail dans l'usine pharmaceutique présente d'autres dangers physiques potentiels liés au matériel utilisé. Les opérations de conditionnement exécutées manuellement par des gestes répétitifs et rapides sont générateurs de troubles musculo-squelettiques fréquents du temps.

## **I.2.3. Risques du travail de nuit et posté**

Les opérations de production pharmaceutique sont souvent continues, avec travail posté en équipe. Le travail de nuit, la perturbation des rythmes du sommeil peut entraîner de nombreux troubles somatiques (surtout digestifs et majoration du risque cardiovasculaire), psychologiques (stress, risque accru de pathologie dépressive, addictions à l'alcool ou aux drogues...), des problèmes psychosociaux et familiaux liés au mode de vie et une survenue d'accidents accrue due à la somnolence et au manque de vigilance induit, lié à l'augmentation du temps de réaction aux aléas, au mauvais passage de consignes

## **I.2.4. Risques d'incendie et d'explosion**

Le stockage et l'utilisation de solvants, d'alcools et autres liquides inflammables, des réactions chimiques incontrôlées, avec très forte exo thermie et/ou pressions très élevées, sont susceptibles d'entraîner des explosions. Tous ça a pare les risques d'utilisation de gaz et les risques qui peut provoquer par des équipements électrique. [4]

## **I.3. Présentation de l'entreprise pharmaceutique SAIDAL :**

### **I.3.1. Historique**

La Pharmacie Centrale Algérienne (PCA) créée en 1969 avait le monopole sur l'importation, la fabrication et la commercialisation en gros des produits pharmaceutiques. En 1982 la PCA a subi une restructuration et sa branche production fut érigée en Entreprise Nationale de Production Pharmaceutique (ENPP). En 1985, elle changea de dénomination et devient alors : **SAIDAL**.



**Figure I.1 :L'entrée de l'usine SAIDAL Dar El Beida.**

Suite aux réformes économiques de 1989, SAIDAL devient une entreprise publique dotée de l'autonomie de gestion et a acquis le statut de société par actions (SPA).

En 1993, SAIDAL a participé à la création de nouvelles filiales.

En 1997, SAIDAL a subi une restructuration qui s'est traduite par sa transformation en Groupe Industriel, le 2 Février 1998, dans la même année, elle a développé des opérations de recherche dans le domaine humain et vétérinaire.

Pharmal est l'une des quatre filiales de SAIDAL qui a pris naissance lors de sa restructuration en tant que Groupe Industriel en Février 1998.

Elle dispose de trois usines de fabrication qui sont :

- Usine Dar El Beida
- Usine Annaba
- Usine Constantine

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

L'Usine Dar El Beida est l'une des unités les plus anciennes du groupe, elle existe depuis 1958 et sert à la fabrication de produits pharmaceutiques sous trois formes :

- Sèche (Gélules, Comprimés) ;
- Liquide (sirops) ;
- Pâteuse (dentifrice, pommades).

## I.3.2. Localisation

L'usine Dar El Beida est située à l'Est de la zone industrielle d'Oued Smar, elle-même située à 20 Km à l'Est d'Alger.

Les coordonnées géographiques de l'unité sont :

$X = 03^{\circ} 12' 11''$

$Y = 36^{\circ} 42' 30''$

L'usine est limitée :

- Au Nord par : la société PFAISER ;
- Au Sud par : la route et l'autoroute ;
- À l'Est par : le parc présidence ;
- À l'Ouest par : la pharmacie centrale des hôpitaux (PCH).

Le site d'implantation de l'usine est bien desservi. Les principaux axes de communication sont :

- L'autoroute au sud de l'unité ;
- Route nationale N°18 au sud de l'unité ;
- L'aéroport Houari Boumediene à 1,25 km.

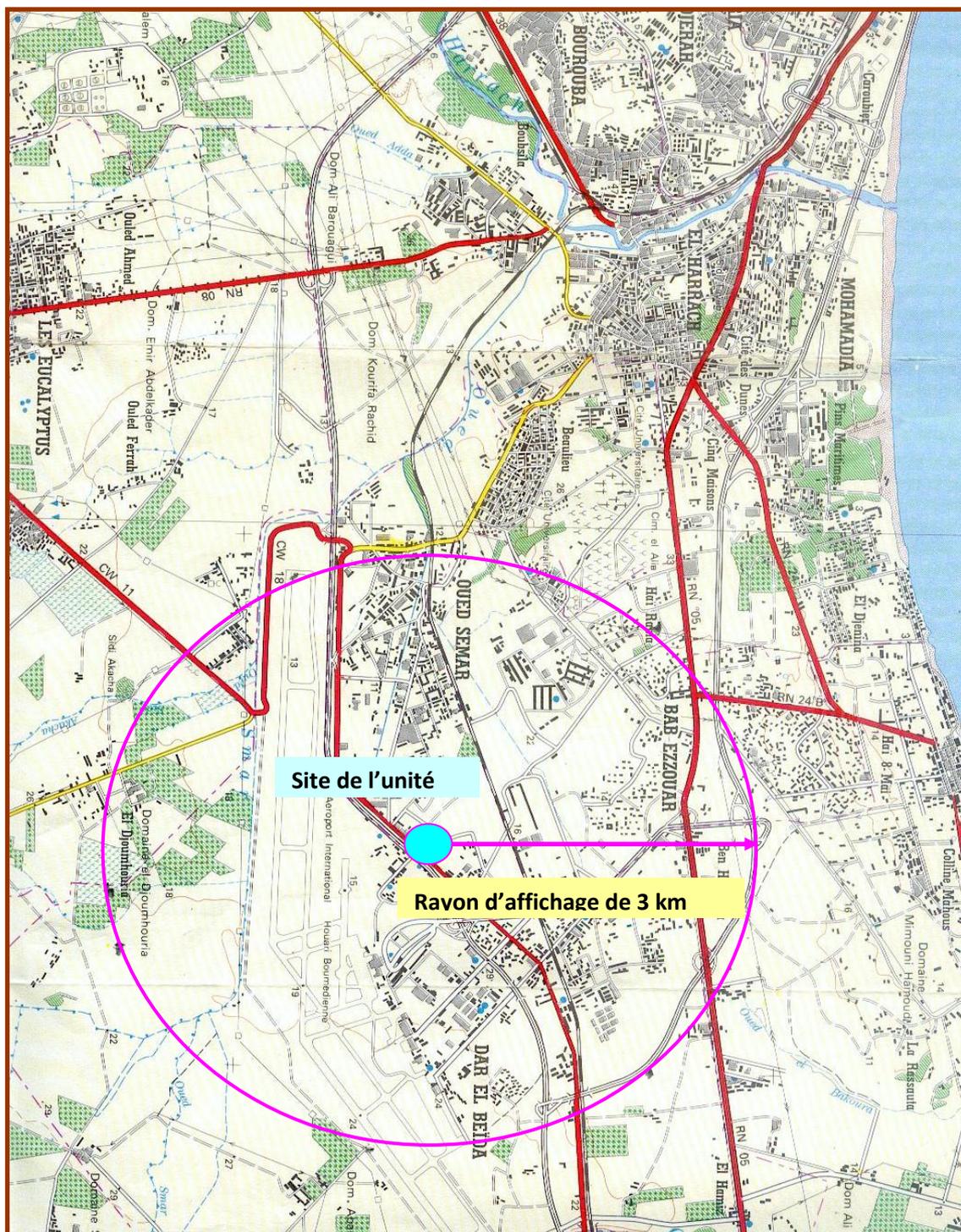


Figure I.2 : Délimitation du rayon d'affichage.

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

## I.3.3. Plan de Situation

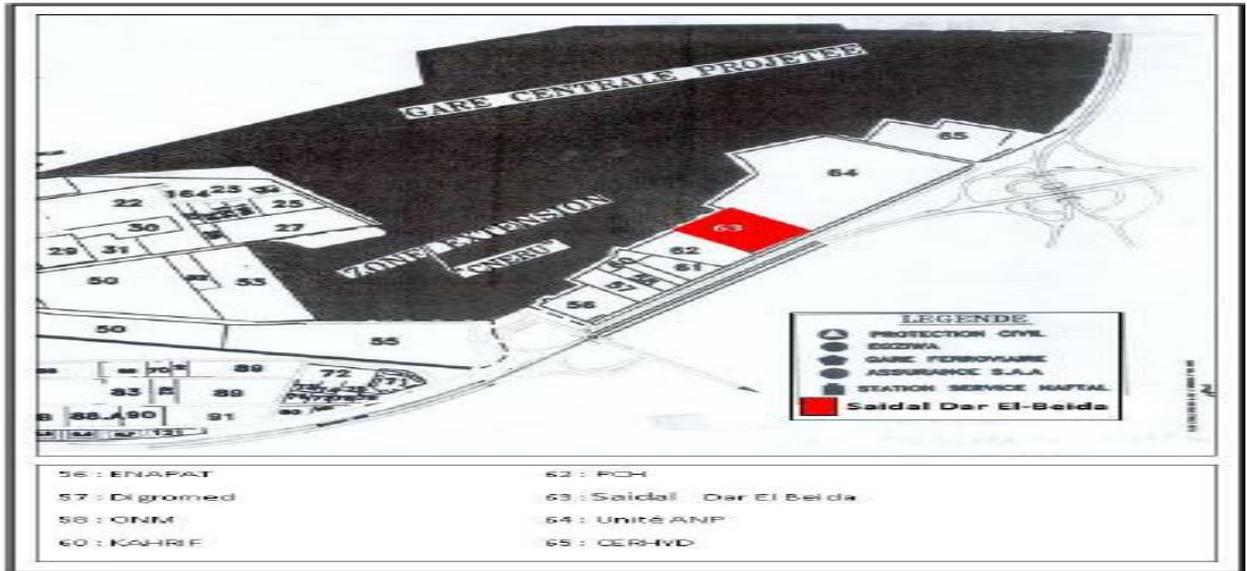


Figure I.3 : Situation de l'usine SAIDAL Dar El Beida.

## I.3.4. Plan de masse

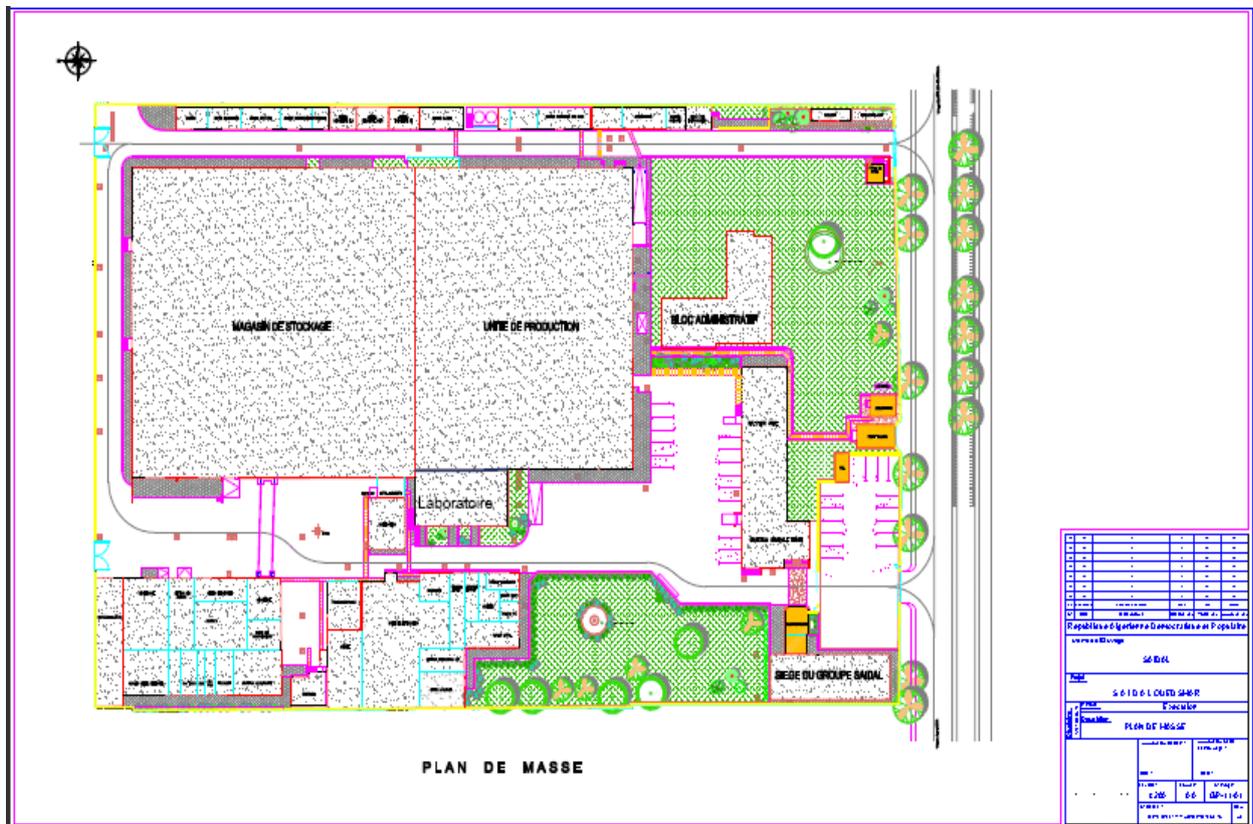


Figure I.4 : Plan de masse d'usine SAIDAL Dar El Beida.

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

## I.3.5. Organisation

L'usine est constituée de :

- Blocs administratifs -Deux postes de garde
- Cantine et vestiaire-Une bache à eau ;
- Une salle à chaudières ; -Un local pour groupe électrogène
- Une station de prétraitement des eaux - Une station de traitement des eaux
- Trois ateliers de production (Forme sèche, liquide et pâteuse) dans un même bloc
- Un laboratoire de contrôle de la qualité Un magasin central

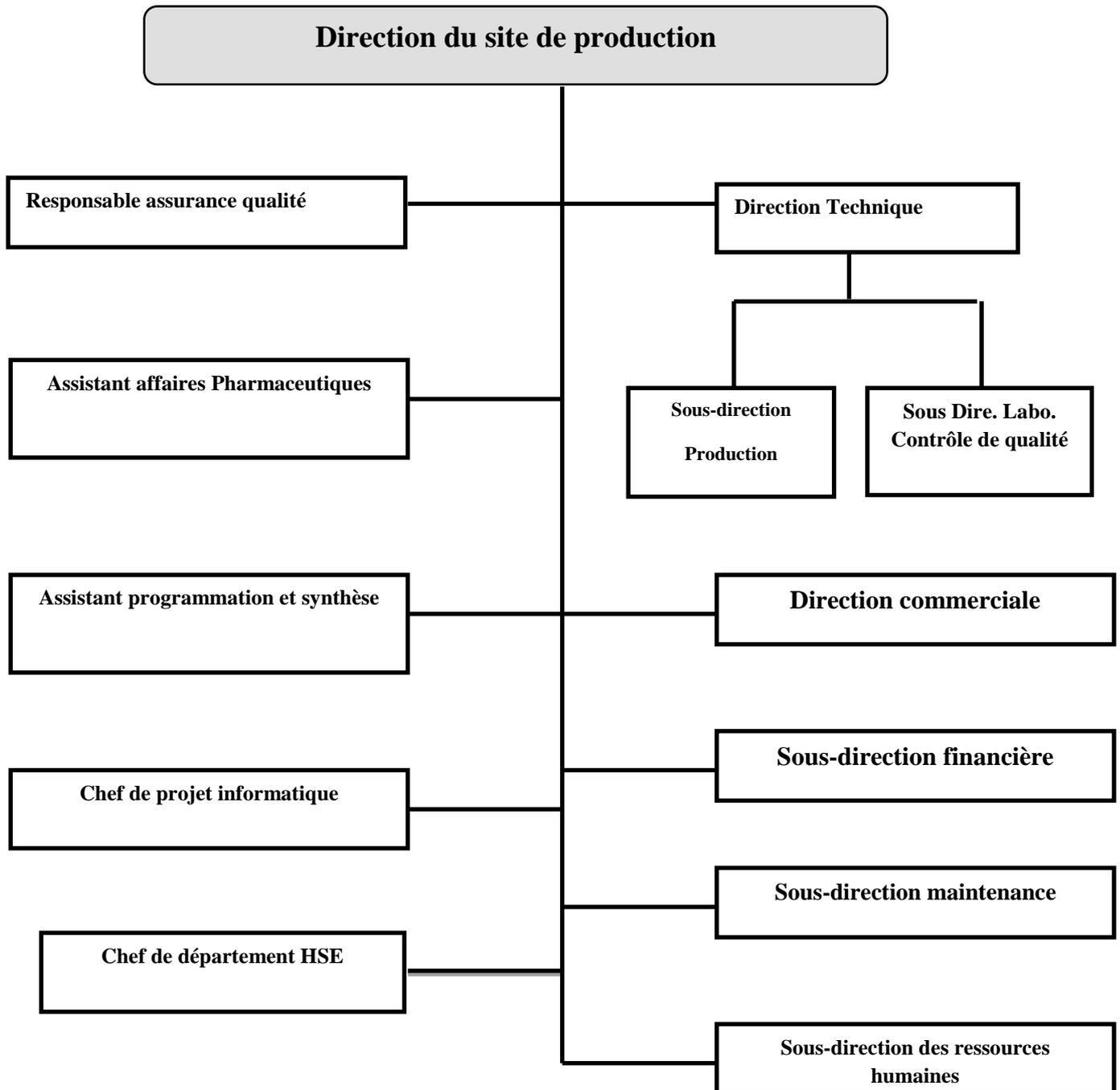


Figure I.5 : Organisationnel de l'usine SAIDAL Dar El Beida. [5]

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

## I.3.6. Activité et processus de l'établissement

### I.3.6.1. Ateliers de production

L'usine Dar El Beida produit des médicaments à travers une organisation entre les ateliers de production, le laboratoire de contrôle de la qualité, la station de traitement des eaux, la station de climatisation de l'air et les magasins de stockage.

Elle prépare des produits pharmaceutiques selon trois formes :

- Sèche (gélules, comprimés) :
- Liquide (sirops)
- Pâteuse (dentifrice et pommades)

L'usine comporte quatre ateliers de fabrication, qui sont :

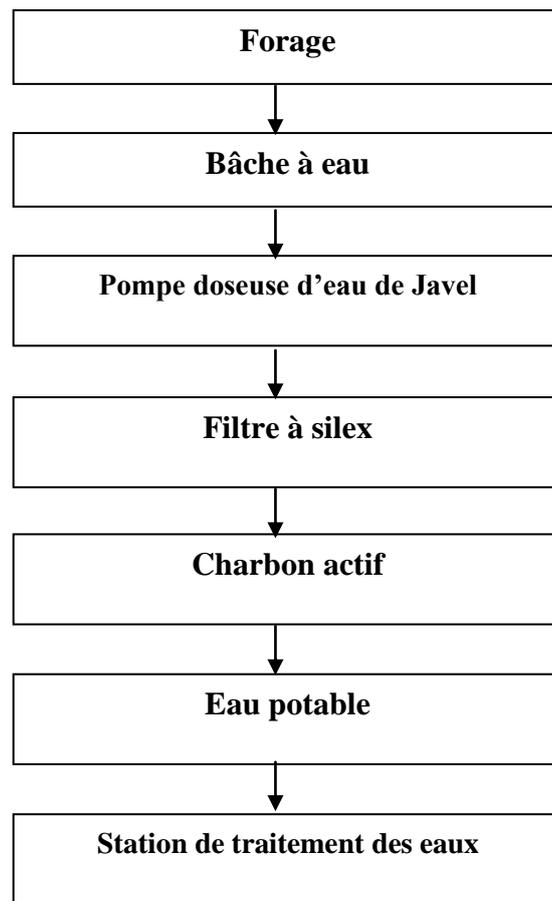
- Atelier sirops ;
- Atelier pommades ;
- Atelier de dentifrice ;
- Atelier comprimés et gélules ;

### I.3.6.2. Station de traitement des eaux

L'eau utilisée dans l'usine est issue d'un forage qui est à 72 m de profondeur, équipé d'une pompe immergée à 62 m. Cette eau subit un prétraitement par un silex fin qui élimine le sable fin, elle est ensuite stockée dans un bac de décantation qui se trouve dans la bêche à eau, d'un volume de 265 m<sup>3</sup>, 100 m<sup>3</sup> sont destinées pour le réseau incendie et le reste, soit 165 m<sup>3</sup> pour la production, les sanitaires, les chaudières et eau potable.

La pompe immergée est reliée à une pompe doseuse d'eau de Javel pour le contrôle du Chlore qui ne doit pas dépassé 0,4 ppm. Après cela, l'eau est soumise à une filtration avec un filtre à silex à différents diamètres et un filtre à charbon actif, l'eau devient alors potable et prête à la consommation après avoir effectué des analyses microbiologiques et physico-chimiques.

Cette eau potable subit ensuite différents traitements dans la station de traitement des eaux.



**Figure I.6 : Les étapes du prétraitement. [5]**

L'usine de Dar El Beida n'utilise pas l'eau potable pour la production, car elle peut engendrer des produits secondaires non désirables issus d'une réaction chimique ayant lieu entre un élément chimique de l'eau et un produit qui rentre dans la composition du médicament, c'est pour cela qu'on utilise l'eau purifiée qui est obtenue par l'intermédiaire de la station des eaux, et qui sera stockée après dans une cuve de stockage de grande capacité ayant des liaisons avec les ateliers de production.

La station de traitement des eaux peut traiter jusqu'à  $100 \text{ m}^3/\text{j}$  en procédant par les étapes suivantes :

- Transfert de l'eau stockée dans la bâche à eau avec deux pompes de transfert qui fonctionnent en alternative ;

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

- Traitement de l'eau par trois micros-filtres de sécurité de 10 $\mu$  (trois cartouches à joint plat) ;
- Traitement par deux adoucisseurs (résine échangeur d'ions) ;
- Microfiltration de sécurité à trois microns (6 cartouches) ;
- Osmoseur mono étagé avec trois tubes de pressions (dans un tube de pression, on trouve deux modules ou membranes enroulées), les rejets sont entre 63 et 75%, c'est-à-dire que le per méat en eau osmose est entre 34% et 37% ;
- Echangeur d'ion à lit séparé : neutralisation (en utilisant l'acide chlorhydrique 30% et soude) ;
- Echangeur d'ion à lit mélangé (opération secondaire ou opération de polissage), cationique et anionique ;
- Microfiltration à 1 $\mu$  (3 cartouches) ;
- Stérilisation UV ;
- Ultrafiltration à 0,2 $\mu$

### **I.3.6.3.Station de traitement de l'air**

Le traitement de l'air ce fait, par des filtres à différents diamètres et dimensions, la station compte trois centrales ou l'air passe par des pré filtres, des filtres puis des filtres absolus.

### **I.3.6.4.Magasin central**

L'Usine Dar El Beida possède un magasin qui sert au stockage des matières premières, articles de conditionnement et produits finis. Il a une superficie de 6 600 m<sup>2</sup> et peut stocker jusqu'à 4 600 palettes.

### **I.3.6.5.Atelier de maintenance**

Grâce à cet atelier, l'essentiel des machines industrielles de l'usine peut être contrôlé et des réparations sont apportées en cas de défaillance technique.

Les huiles usagées issues du graissage et de la vidange des équipements, sont stockées dans des fûts métalliques à leur niveau puis revendues à NAFTAL.

### **I.3.6.6. Autres**

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

Usine Dar El Beida compte aussi

- Une salle de lavage des ustensiles de tous les ateliers de production ;
- Une Zone de quarantaine des produits semi-finis jusqu'à affirmation de leur conformité par le laboratoire de contrôle de la qualité ;
- Un groupe électrogène ;
- Une bache à eau de 265 m<sup>3</sup> ;

Une imprimerie qui sert à l'impression des vignettes et au pliage des notices.

## I.3.6.7.Procès de production

Après la pesée des matières premières, on procède à la fabrication qui est l'une des opérations élémentaires de production. Ces étapes sont au nombre de trois :

- Fabrication
- Contrôle
- Conditionnement [5]

## I.3.6.8.Chaudière

L'usine pharmaceutique « SAIDAL » de Dar El Beida dispose de deux chaudières à vapeur (BABCOCK et STEAMBLOC). Cette vapeur est nécessaire pour l'activité de l'usine elle est alimentées en gaz naturel présentant un risque significatif.



**Figure I.7 :Fabrication de chaudière à vapeur.**



**Figure I.8 : Chaudière à vapeur de l'usine SAIDAL Dar El Beida.**

### **I.4. Chaudière à vapeur**

#### **I.4.1. Généralité**

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique.

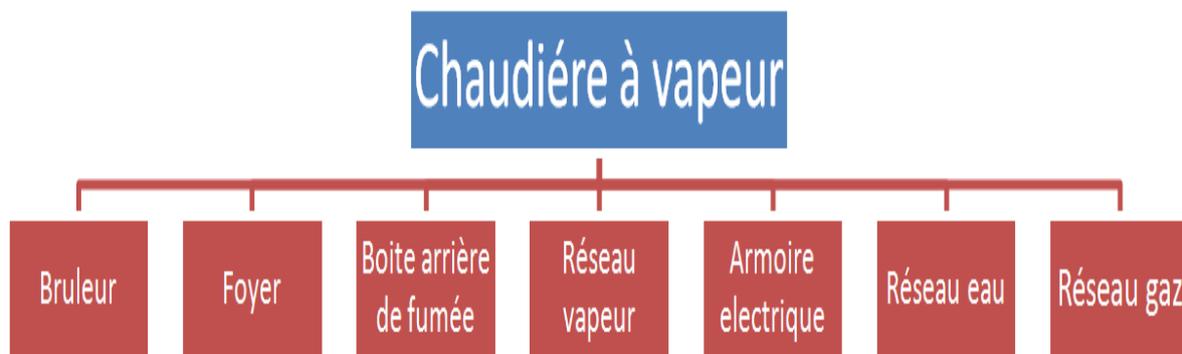
Industriellement on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique. [6]

#### **I.4.2. Fonctionnement de chaudière**

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte, Les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

vers un second caisson à l'avant de la chaudière. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur. Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par apport de calories.



**Figure I.9 : Décomposition fonctionnelle de la chaudière. [8]**

La vapeur est générée en chauffant un important volume d'eau au moyen de fumées produites par combustion de gaz ou fioul et circulant dans des tubes immergés. C'est la technique la plus classique pour la production de vapeur.[6]

### I.4.3.Présentation de l'équipement

- Voici les principales caractéristiques de la chaudière étudié « BABCOCK ». [5]

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

Tableau I.1 : Informations de chaudière à vapeur BABCOCK.

<b>Chaudière</b>	A vapeur	<b>Fabricant</b>	Babcock wanson
<b>N° de fabrication</b>	XF11/50175	<b>Type</b>	400
<b>Puissance (KW)</b>	3076	<b>Timbre (bars)</b>	10
<b>Marque bruleur</b>	General combustion	<b>Type bruleur</b>	A gaz
<b>Température maxi (C°)</b>	184	<b>Eau alim Intel(C°)</b>	80
<b>Puissance ABS (KW)</b>	11.5	<b>Fréquence (HZ)</b>	50
<b>Combustible</b>	Gaz naturel	<b>Tension</b>	380
<b>Année</b>	1994	<b>Débit vapeur (kg/h)</b>	4500

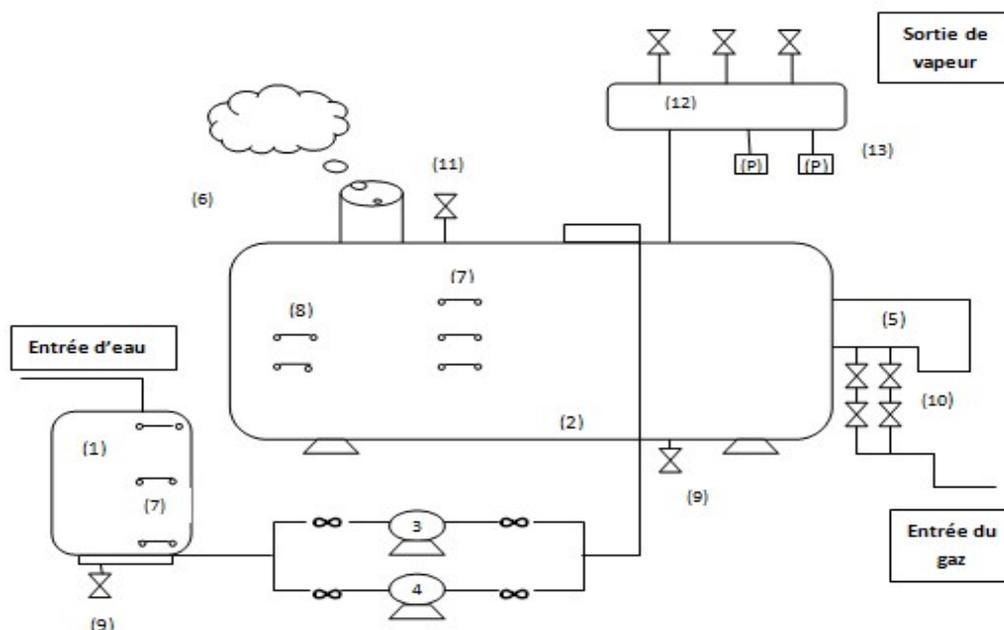


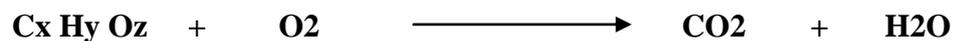
Figure I.10 : Technique de fonctionnement de chaudière. [8]

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

**Tableau I.2 : Éléments constitutifs la chaudière.**

N°	Nom de l'élément	7	Sonde de niveau
1	Réservoir d'eau	8	Sonde de niveau sécurité
2	Chaudière	9	Vidange
3	Vanne et pompe	10	Soupape GAZ
4	Vanne et pompes (secours)	11	Soupape sécurité
5	Bruleur	12	Distributeur
6	Échappement	13	Pressostat

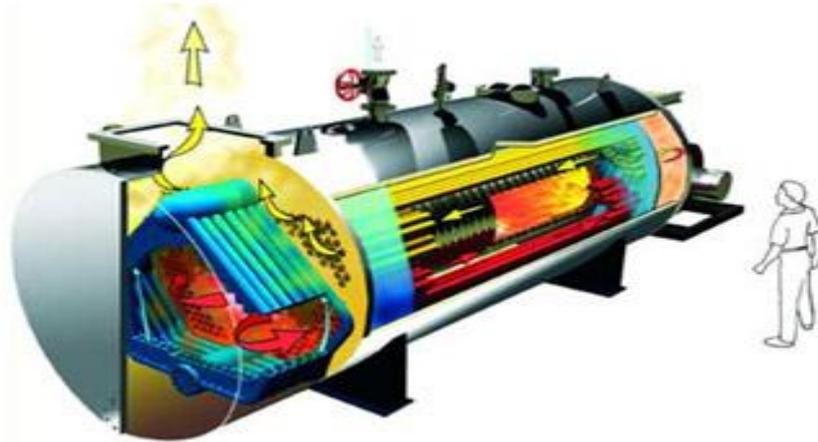
**Equation générale de combustion :**



- Voici les principales caractéristiques de la Deuxième chaudière étudié « STEAMBLOC » [5]

**Tableau I.3 : Les informations de chaudière à vapeur STEAMBLOC.**

<b>Chaudière</b>	A vapeur	<b>Fabricant</b>	STEAMBLOC
<b>N° de fabrication</b>	74-2285	<b>Type</b>	400
<b>Puissance (CAL/H)</b>	2 610 000	<b>Timbre (bars)</b>	10
<b>Marque Bruleur</b>	Cuenoud	<b>Type bruleur</b>	A GAZ
<b>Surface de chauffe (m<sup>2</sup>)</b>	138	<b>Eau alim Intel (C°)</b>	80
<b>Intensité maxi</b>	27	<b>Fréquence (HZ)</b>	50
<b>Combustible</b>	Gaz naturel	<b>Tension</b>	380
<b>Année</b>	1975	<b>Débit vapeur kg/h</b>	4500



**Figure I.11 : Fonctionnement de chaudière.**

## **I.4.4. Lois régissant la chaudière**

La chaudière BABCOCK WANSON qui on a étudié est soumis à des réglementations nationale et internationale et certifié à la norme ISO 9001 version 2015et le certificat système commun MASE/ UIC pour l'ensemble de ses prestations, produits, et services. [8]

**I.4.4.1.Directive européenne 97/23/EC**, relative aux équipements sous-pression a été adoptée le 29 mai 1997 (JOCE n° L 181 du 9/07/97).

### **I.4.4.1.1.Réglementation de chaudière en France**

Décret du 99-1046, 13 décembre 1999 (JO du 15 décembre 99) Relatif aux équipements sous pression. Définitivement applicables à partir de mai 2002.

Arrêté du 21 décembre 1999 (JO du 28 décembre 1999) « classification et évaluation de la conformité des équipements sous pression » et « habilitation d'organismes pour l'application du décret 99-1046 ».

Arrêté du 15 mars 2000 (JO du 22 avril 2000 modifié par l'arrêté du 13 octobre 2000) : relatif à l'exploitation des équipements sous pression. Définitivement applicable à partir du 22 avril 2005 (sauf exceptions).

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

## **I.4.4.1.2. Rendements minimaux des chaudières et contrôles périodiques**

Décret n° 98-8178 du 11 septembre 1998 relatif aux rendements et à l'équipement des chaudières de puissance comprise entre 400 kW et 50 MW.

Décret n° 98-8330 du 16 septembre 1998 relatif aux contrôles périodiques des installations consommant de l'énergie thermique.

**Note :** Ces deux décrets ont été introduits dans le code de l'Environnement aux articles R224-20 à R224-21.

## **I.4.4.1.3. Obligations d'économies d'énergie des vendeurs d'énergie**

L'arrêté du 26 septembre 2006 fixe la répartition par énergie de l'objectif national d'économies d'énergie (54TWh).

La liste de la répartition de l'objectif national entre les vendeurs d'énergie.[9]

## **I.4.4.2. Réglementations algérien spécifiques aux des appareils de sous pression**

Décret exécutif n° 90-246 du 18 août 1990 portant réglementation des appareils à pression de vapeur, p. 1003. (N° JORA : 036 du 22-08-1990).

Ce décret contiens plus que 50 articles enrichie par des détails spécifiques aux des appareils de vapeur, et voilà quelque principales articles :

### **- Article 3**

Sont soumis aux dispositions du présent règlement, lorsqu'ils sont utilisés à terre :

- les chaudières ou générateurs de vapeur ;
- les canalisations de vapeur d'eau ou d'eau surchauffée ;
- les récipients de vapeur ou d'eau surchauffée, lorsque la pression peut excéder 0,5 bar.

### **- Article 4**

Par exception et sous réserve des dispositions de l'article 5 ci-après, ne sont pas soumis au présent règlement :

- les générateurs et les récipients où des dispositions matérielles efficaces empêchent la pression de la vapeur de dépasser 0,5 bar

### **- Article 8**

Les appareils à vapeur doivent être construits ou réparés de manière à garantir, sous tous les rapports, la sécurité de l'exploitation.

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

## - Article 10

Chaque conduite d'alimentation d'une chaudière doit être munie d'un clapet de retenue se fermant automatiquement dès que le dispositif d'alimentation ne débite plus. Le clapet de retenue sera placé aussi près que possible du point d'insertion de la conduite sur le générateur. Des dispositions doivent être prises pour que, en cas de défaut d'étanchéité du clapet, le générateur ne se vide pas par la conduite d'alimentation.

Un appareil de fermeture permettant de vérifier en tout temps le clapet de retenue sera intercalé entre ce dernier et le générateur

## - Article 11

Chaque générateur doit être muni de deux appareils indicateurs de niveau de l'eau dont l'un, au moins, est à tube de verre.

L'indicateur à tube de verre doit être muni d'un dispositif protégeant le personnel contre le danger des éclats de verre. Ce dispositif ne doit pas gêner la visibilité du niveau de l'eau.

## - Article 12

Les chaudières rentrant dans la première catégorie définie à l'article 38 doivent être munies d'un appareil d'alarme sonore entrant en jeu lorsque le niveau de l'eau descend au-dessous de la limite fixée à l'article 9 ci-dessus.

Pour les chaudières à foyer intérieur, un bouchon fusible convenablement placé au ciel du foyer peut tenir lieu d'appareil d'alarme.

## - Article 13

Chaque chaudière doit être munie d'au moins deux soupapes de sûreté.

## - Article 15

Les chaudières, réchauffeurs et surchauffeurs doivent être munis de trous d'homme, trous de poing ou autres ouvertures appropriées pour l'examen intérieur et le nettoyage ; sauf pour certains types d'appareils où de telles ouvertures n'auraient manifestement aucune utilité

## - Article 16

Les générateurs doivent être munis d'un tube laissant échapper la vapeur à l'air libre. Ce tube, de grandeur suffisante, sera commandé par une vanne facilement accessible.

## - Article 17

Une vanne de prise de vapeur doit être placée dans la conduite de vapeur à proximité immédiate du générateur.

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

## - Article 18

En cas d'emploi de combustibles d'une teneur élevée en matières volatiles, surtout de combustibles liquides ou gazeux, des clapets d'expansion seront installés aux endroits appropriés.

Dispositif de vidange protégé contre des gaz chauds, sera placé au point le plus bas de la chaudière.

## - Article 22

Chaque récipient de vapeur ou sa conduite d'amenée doit être muni d'au moins d'une soupape de sûreté si sa capacité est inférieure à un mètre cube et d'au moins deux soupapes de sûreté si sa capacité atteint ou dépasse un mètre cube.

## - Article 39

Une chaudière ou un groupe générateur de première catégorie doit être en dehors et à 10 mètres au moins de toute maison d'habitation et de tout bâtiment fréquenté par le public.

Le local où sont établis ces appareils ne peut être surmonté d'étages ? Il doit être séparé par un mur de tout atelier voisin occupant à poste fixe un personnel autre que celui des chauffeurs, des conducteurs de machines et de leurs aides, sauf dans le cas où la nature de l'industrie rendrait nécessaire la communauté de local. S'il est situé au-dessus d'un semblable atelier, il doit être séparé par une voûte épaisse.[10]

## I.5.Problématique

L'industrie pharmaceutique se classe parmi les industries les plus touchés par les accidents majeurs tels que les explosions, les incendies ou les écoulements polluants. Ces accidents ont de lourdes conséquences d'un point de vue humain, matériel ou environnemental.

Nous constatons les conséquences de nombreuses erreurs qui ont entraîné des accidents ou des catastrophes majeures dans le monde, (Bhopal 1984, Tchernobyl 1986, (AZF) Toulouse 2001, Fukushima 2011 ...), entraînant des efforts supplémentaires du secteur pour améliorer le contrôle et la réduction des risques.

Selon la base de données ARIA, les causes de ces accidents peuvent principalement être expliquées par 2 types de défaillances : les défaillances matérielles et les erreurs humaines.

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

---

SAIDAL possède une politique de gestion des risques stricte afin d'éviter tout dommage qui puisse porter atteinte aux personnes, à l'économie, à l'environnement et à l'image de marque de l'entreprise.

Notre travail a comme objectif de maîtriser les risques liés à l'utilisation de chaudière à vapeur au niveau de SAIDAL DAR El Beida, les principales questions à poser sont les suivantes :

Quels sont les défaillances qui peuvent entraîner la chaudière ? Quels sont les différents phénomènes dangereux ? Quels sont les dispositifs de sécurité mis en place ? Sont-ils suffisants ? Quels sont alors les différentes méthodes d'analyse des risques qui seront capable de répondre à toutes nos questions ?

## I.6.Méthodologie

Après une description simple du système de production SAIDAL, nous passerons à l'étape d'appréciation des risques afférents à ce système. Et cela dans le but de résoudre notre problématique.

Nous nous sommes basées dans un premier temps sur l'étude de danger, du service HSE de l'usine pharmaceutique SAIDAL (réalisée par un prestataire). Cette étude conclue que la zone la plus critique est celle de la chaudière.

Nous avons par la suite mis en œuvre la méthode Structure d'Analysis Design Technic(SADT) par la détermination des sous-systèmes critiques. C'est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive, elle présente un outil très simple de décomposition et d'hierarchisation.

Nous avons aussi appliqué la méthode d'analyse préliminaire des Risques(APR) où nous avons étudié l'ensemble des risques, ainsi que leurs interactions. Le but de cette méthode est d'identifier les causes et la nature des accidents potentiels ainsi que les mesures de prévention et de protection nécessaires pour en limiter l'occurrence et la gravité.

La dernière méthode que nous avons utilisée, est celle d'arbre de défaillance (AdD) à partir des ER. Nous avons estimé la méthode simplifiée occurrence des ER et des séquences

# Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie

accidentelles pour chaque élément de ce système en construisant des arbres de défaillances et d'évènements.

Pour finir, nous avons réalisé une modélisation et simulation des effets du phénomène dangereux à l'aide du logiciel PHAST.

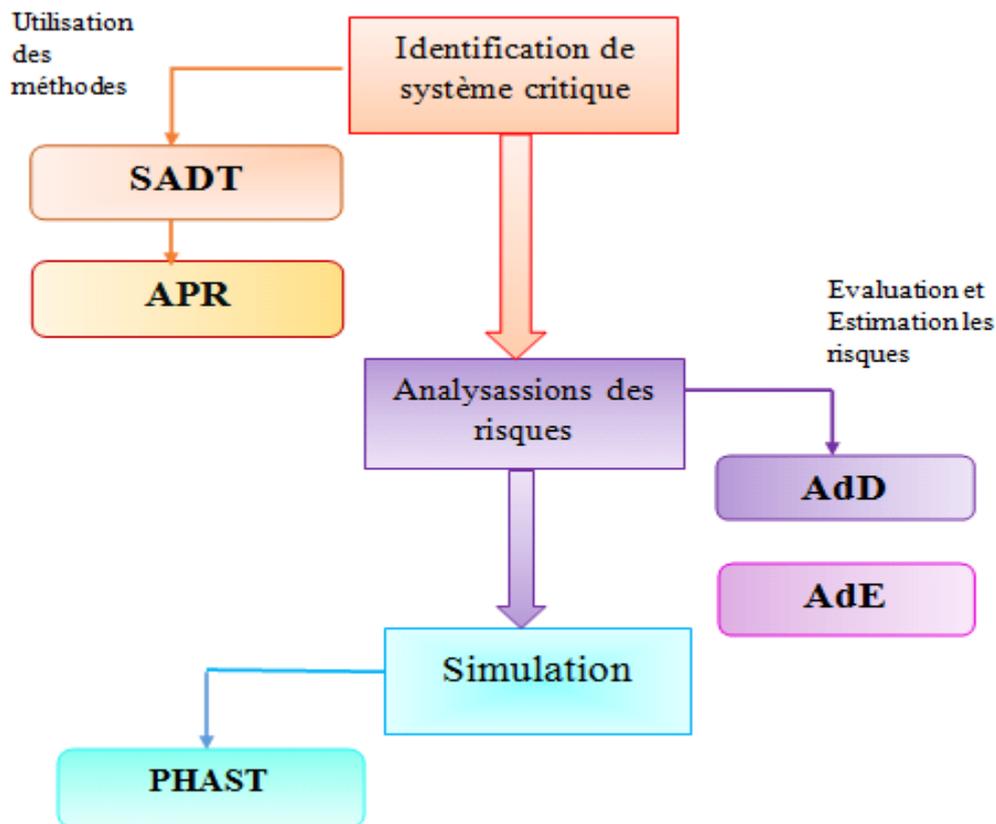


Figure I.12 : Démarche de méthodologique.

Ce chapitre nous a permis de situer la problématique posée dans son contexte. Une méthodologie est proposée pour l'analyse et la maîtrise des risques au niveau d'usine « SAIDAL » Dar El Beida

# **Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques**

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

Le risque industriel résulte de l'exploitation des installations industrielles dangereuses et qui est plus particulièrement relatif à la possibilité d'occurrence d'un accident majeur, gérer un risque est un processus itératif qui a pour objectif d'identifier, d'analyser, d'évaluer et de le réduire au maximum ou de le maintenir dans des limites acceptables. La gestion des risques est une des composantes fondamentales de la gestion d'un système. Elle est essentielle à la réussite des entreprises, que ce soit en terme économique ou environnemental.

L'analyse des risques est une étape clé du processus de gestion des risques. Sa réalisation nécessite de mettre en œuvre une démarche structurée systématique. C'est ce à quoi sont destinées les méthodes que nous présentons dans ce chapitre. Celles-ci sont applicables à une variété de risques d'origine technique, en particulier aux risques industriels majeurs.

### II. Notions et concepts de base

#### II.1. Risque

Le risque est une exposition à un danger, tel que la question qui se pose est combien de fois, ou à quelle durée ? Ainsi il connaitre les effets ou bien les dommages qui vont résulter à cette exposition.

On définit alors le risque :

Selon OHSAS 18001 le risque est une : « Combinaison de la probabilité de la survenue d'un ou plusieurs événements dangereux ou expositions à un ou à de tels événements et de la gravité du préjudice personnel ou de l'atteinte à la santé que cet événement ou cette/ces exposition(s) peuvent causer » (OHSAS18001, 2007)

On matérialise les définitions précédentes par la formule :

$$R=P.G$$

Telle que :

G : la gravité des conséquences ;

P : Probabilité d'occurrence. [11]

# Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

## **II.2. Classification des risques industriels**

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques. Une des classifications les plus répandues est de classer les risques en deux catégories : les risques naturels et les risques liés à l'activité humaine.

Généralement, lorsqu'un risque découle d'un phénomène naturel, on parle volontiers de catastrophes naturelles, mais lorsqu'il peut être provoqué par les hommes, alors on parle de risque technologique.

L'étude de notre cas est de se familiariser avec les risques technologiques, c'est-à-dire ceux émanant de l'activité humaine et plus précisément de l'activité industrielle.

Ainsi, le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un site industriel et pouvant entraîner des conséquences graves aux personnes, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel. Selon la gravité et l'ampleur des accidents causés, deux grandes catégories de risques industriels ressortent :

### **II.2.1. Risque professionnel**

Nous entendons par risques professionnels tous les risques à l'origine d'accidents de travail ou causant des maladies professionnelles ou à caractère professionnel, ils sont généralement classés en catégories qui sont reliées directement aux tâches connues, au contact avec certains produits dangereux et aux ambiances de travail,

Cette catégorie de risques fait l'objet d'intérêt de la part des différents acteurs du domaine de la santé et de la sécurité (médecins du travail, psychologues, ingénieurs...) et fait appel à de nombreuses disciplines (ergonomie, toxicologie...). Il reste que ces risques gravitent autour d'un facteur très difficile à cerner qui est le comportement humain, qui à lui seul peut faire l'objet d'études approfondies. C'est pour cela que nous intéresserons par la suite aux risques majeurs

### **II.2.2. Risque majeur**

D'une manière générale, le risque majeur se caractérise par ses nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement.

Le risque majeur est caractérisé par deux critères qui définissent sa fréquence et sa gravité :

- Une faible fréquence ;
- Une énorme gravité (nombreux morts et blessés). [12]

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

### II.3. Danger

La notion du danger est l'un des concepts de base sur lesquels focalisent les industriels.

À cet effet on donne la définition suivante :

« Source, situation, ou acte ayant un potentiel de nuisance en termes de préjudice personnel ou d'atteinte à la santé, ou une combinaison de ces éléments » (OHSAS18001, 2007)

### II.4. Dommage

Blessure physique ou atteinte à la santé des personnes, aux biens ou à l'environnement.

### II.5. Phénomène dangereux

La définition du phénomène dangereux selon MEDD (ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer en France) est : « ...libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptible d'infliger un dommage à des cibles vivantes ou matérielles sans préjuger l'existence de ces dernières ... »

### II.6. Système

Nombreuses définitions ont été établies parmi lesquelles on retient :

« Ensemble déterminé d'éléments discrets (composants, constituants) interconnectés ou en interaction » ;

« Formé d'éléments en interaction dynamique, un système correspond à une portion d'entité réelle, définie par une frontière établie en fonction d'un but, qui se distingue de son contexte ou de son milieu tout en procédant à des échanges avec son environnement ;

Et pour la norme ISO 9000, un système est défini comme étant « un ensemble d'éléments corrélés ou interactifs (ISO, 2000) »

On peut considérer un système comme une boîte noire avec des éléments d'entrée et des éléments de sortie.

### II.7. Scénarios d'accidents majeurs

L'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) à travers ces différentes publications définit le scénario d'accidents majeurs comme suit :

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

Séquence d'évènements qui, s'ils ne sont pas maîtrisés, s'enchaînent ou se combinent jusqu'à l'apparition de dommages majeurs au niveau des cibles de l'environnement. [13]

Le scénario d'accident majeur peut être défini comme l'enchaînement d'évènements indésirables(Ei), aboutissant à un événement redouté central (ERC) qui conduit à un ou des événements majeurs (EM).

- **Un Évènement Indésirable (Ei)**

Représente un événement ne devant pas se produire ou avec une probabilité moins élevée.

Cela peut être une agression, une défaillance, panne d'équipement ou dérive de paramètre

- **Un Évènement Redouté (ER)**

Est un événement qui entraîne la perte d'une ou des fonction(s) essentielle(s) d'un système et cause des dommages importants au système ou à son environnement en ne présentant toute fois qu'un risque négligeable de mort ou de blessure. La perte de confinement de produit, la perte d'intégrité de l'installation ou la rupture d'équipement.

- **Un Évènement Initiateur (EI)**

Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.

- **Un Évènement Majeur (EM)**

Est un événement critique aux conséquences finales lourdes. [14]

### II.8.Explosion

Plusieurs définitions sont établies pour le mot « Explosion », parmi lesquelles nous citons :

« En champ libre, une explosion survient si une quantité suffisamment d'énergie est libérée, pendant un temps suffisamment court pour engendrer une onde de souffle qui se propage dans l'environnement à partir de la source d'émission appelée source de l'explosion» (Baker, 1973)

La définition donnée par le Groupement Français de Combustion est la suivante :

« Une explosion est une libération soudaine d'énergie plus ou moins confinée, plus ou moins maîtrisée, avec ou sans conséquences externes, l'explosion peut donner lieu à une onde de pression (onde de souffle), à une boule de feu. Dans le cas de l'explosion chimique, le processus de libération d'énergie peut être une déflagration ou une détonation »

« Une explosion d'origine chimique est une réaction rapide de combustion ou de décomposition entraînant une élévation de température et/ou de pression. »(Marc & Sallé, 2013)

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

### II.8.1.Types d'explosions

L'explosion d'un nuage gazeux n'est réalisable que si ce dernier est enflammé. Dès l'inflammation de ce nuage, se propage à travers celui-ci une zone de réaction exothermique, appelée onde de combustion.

L'explosion d'une charge gazeuse nécessite donc un apport d'énergie afin d'enflammer le combustible.

Selon la quantité d'énergie, deux régimes de propagation de l'onde de combustion sont possibles : la détonation et la déflagration.

### II.8.2.Limites d'explosivité

On a deux limites principal les d'explosivité : limite inférieure et limite supérieure.

#### II.8.2.1.Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)

La Limite Inférieure d'Explosivité ou d'Inflammabilité d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air est la concentration maximale en volume dans le mélange au-dessus de laquelle il peut être enflammé (explosé).

#### II.8.2.2.Limite Supérieure d'Explosivité (LES)

La Limite Supérieure d'Explosivité ou d'Inflammabilité d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air est la concentration maximale en volume dans le mélange au-dessous de laquelle il peut être enflammé (explosé). [11]

### II.9. Notion de sécurité

Elle peut être définie par son contraire comme étant l'absence du risque inacceptable. Ce risque inacceptable est dû aux blessures ou atteintes à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement. La sécurité est l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

### II.10. Sécurité fonctionnelle

Suivant la norme IEC61508, en 1998, la sécurité fonctionnelle est le sous-ensemble de la sécurité globale qui dépend du bon fonctionnement d'un système ou d'un équipement en

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

réponse à ses entrées. La sécurité fonctionnelle veille donc à contrôler l'absence de risques inacceptables qui pourraient :

- Engendrer des blessures ;
- Porter atteinte, directement ou indirectement, à la santé des personnes ;
- Dégrader l'environnement ;
- Altérer la propriété.

La sécurité fonctionnelle couvre les produits ou systèmes mettant en œuvre des solutions de protection fondées sur diverses technologies :

- Mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable, optique, etc.
- Ou toute combinaison de ces technologies. [15]

### **II.11.Processus de gestion des risques**

La gestion des risques peut être définie comme l'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable. Cette définition, s'appuie ainsi sur un critère d'acceptabilité du risque. Elle permet donc de hiérarchiser les risques préalablement identifiés et évalués afin de savoir quels sont ceux qui nécessitent la mise en place de barrières qui consistent en un ensemble de moyens techniques et/ou organisationnels en vue de les maîtriser. Dans ce qui suit, nous allons aborder les différentes composantes du processus de gestion des risques qui sont résumés dans la **figure II.1** :

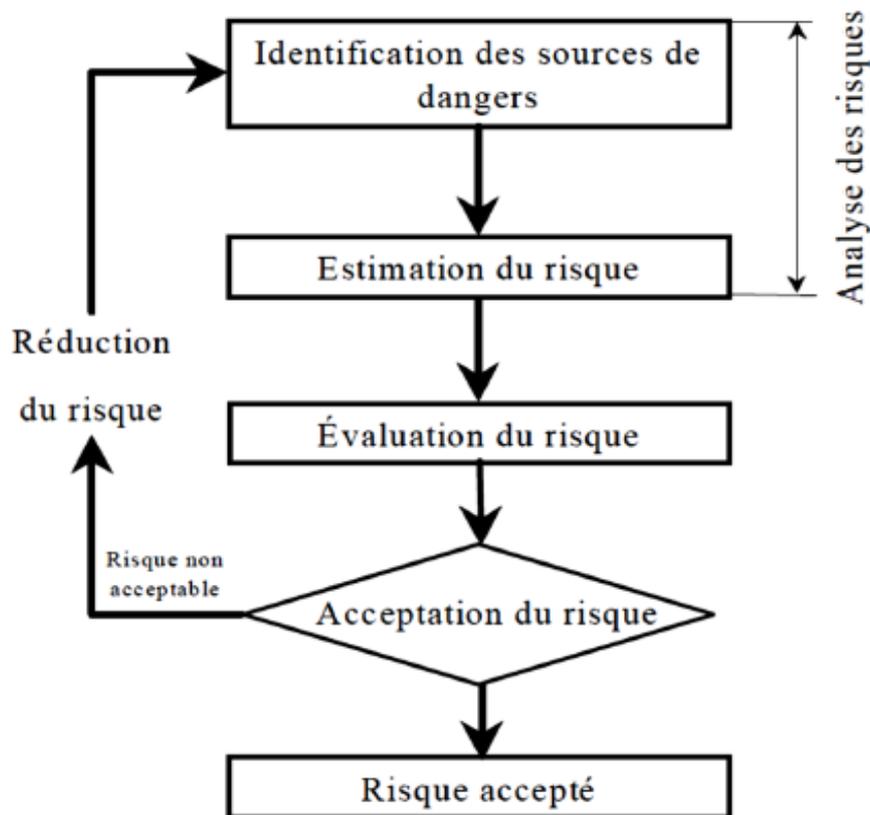


Figure II.1 : Processus de la gestion des risques. [15]

### II.12. Notion d'Analyse des risques

L'analyse du risque est définie comme « l'utilisation des informations disponibles pour Identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ». C'est un processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques qui comprend l'identification des sources de risque, des événements, de leurs causes et de leurs conséquences potentielles de façon systématique et permanente en vue de les estimer.

Il est notamment question de choisir un ou plusieurs outils pour mener l'analyse des risques et de retenir, si nécessaire, des échelles de cotation des risques et une grille de criticité.

#### II.12.1. Identification des sources de dangers

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

Cette étape vise à collecter l'ensemble des informations pertinentes pour mener le travail d'analyse de façon efficace. La description fonctionnelle de l'installation à étudier et de son environnement, il est indispensable d'avoir clairement identifié. [16]

- Les dangers associés aux installations ;
- Les risques d'agressions externes sur l'installation étudiée ;
- L'analyse des accidents survenus sur des installations similaires.

Elle peut faire appel à des données historiques (retour d'expérience), des analyses théoriques, des avis d'experts et autres personnes compétentes et tenir compte des besoins des parties prenantes.

À la fin des réseaux de cause à effet peuvent être élaboré pour définir les scénarios d'accident les plus plausibles. [17]

### II.12.2. Estimation des risques

Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de les hiérarchiser et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque à un niveau jugé acceptable [16].

L'estimation d'un risque se définit comme un : « Processus utilisé pour affecter des valeurs à la probabilité et aux conséquences d'un risque. L'estimation du risque peut considérer le coût, les avantages, les préoccupations des parties prenantes, et d'autres variables requises selon le cas pour l'évaluation du risque ».

Son estimation peut être effectuée de manière qualitative ou quantitative (tout dépend de l'outil de l'analyse) à partir :

-D'un niveau de probabilité que le l'événement non souhaité survienne ;

-D'un niveau de gravité des dommages.

**Risque = Probabilité x Gravité**[17]

### II.13. Évaluation des risques

L'évaluation du risque désigne une procédure fondée sur l'analyse du risque pour décider si le risque tolérable est atteint. [18]

Elle revient à comparer le niveau du risque estimé à un niveau jugé acceptable ou tolérable.

L'évaluation des risques est un processus permettant d'évaluer les risques pour garantir la sécurité. Cependant, il faut faire la différence entre les termes « analyse des risques » où il

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

s'agit simplement de dépister les risques, et « évaluation des risques » évaluation qui permet de classer les risques selon un degré d'importance. L'évaluation des risques est un examen systématique de tous les aspects du travail.

L'évaluation des risques permet donc une meilleure organisation de l'entreprise, ce qui signifie un gain de productivité et une augmentation de la qualité.

Elle sert à établir :

- les possibilités d'élimination de dangers ;
- les mesures de prévention ou de protection à mettre en place pour maîtriser les risques. [16]

### II.14. Barrières de sécurité

Nous distinguons deux catégories de barrières de sécurité : Barrières de prévention et barrières de protection.

La figure ci-dessous illustre la position de ces barrières par rapport à l'événement redouté central.

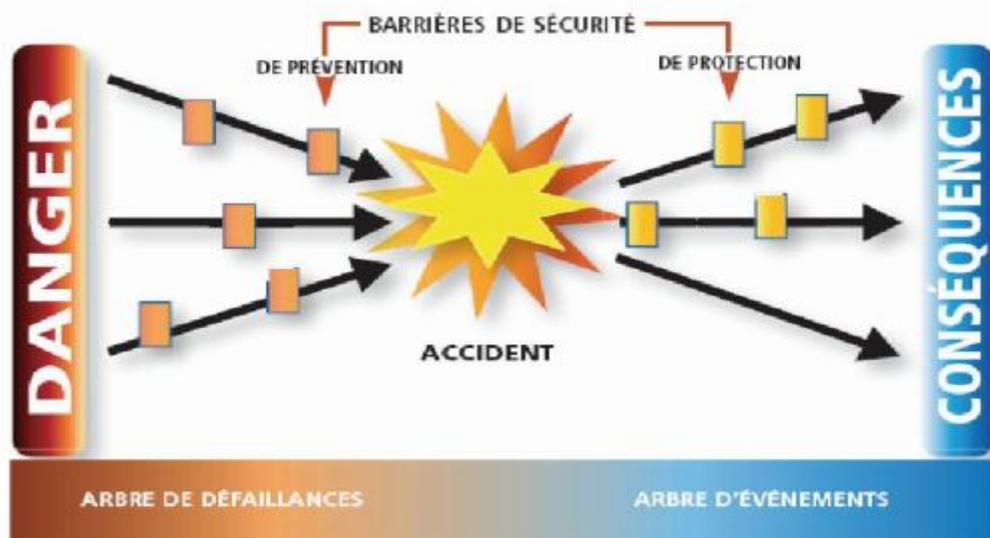


Figure II.2 : Barrières de sécurité de prévention et de protection.[19]

#### II.14.1.Barrières ou mesures de prévention

Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de connement ou d'intégrité physique.

#### II.14.2.Barrières ou mesures de protection

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de connement ou d'intégrité physique.[19]

### II.15.Outils d'analyse des risques

Aujourd'hui les méthodes d'analyse des risques connaissent un fort développement en nombre, ainsi qu'une spécialisation en fonction de leurs domaines d'application. Cette partie se veut illustrative des méthodes à employer en matière de gestion des risques décrits précédemment.

**Tableau II.1 : Finalité et typologie de quelques méthodes d'analyse des risques.**

Nom de la Méthode	Objectif Principal	Typologie
APR (analyse préliminaire des risques)	Identification des scénarios d'accidents en présence de sources de danger et estimer la criticité	Quantitative Inductive Statique
AdD (Arbre de défaillances)	Représenter de façon synthétique l'ensemble Des combinaisons d'évènements qui peuvent engendrer un évènement redouté	Qualitative / Quantitative Déductive Statique
AdE (Arbre d'évènements)	Représenter sous forme de scénarios les conséquences d'un évènement initiateur ou d'une défaillance	Quantitative Inductive Statique

#### II.15.1. Analyse fonctionnelle

Structured Analysis Design Technic(SADT).Cette méthode a été mise au point par la société softech aux états. C'est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive d'un ensemble quel qu'il soit on peut appliquer le SADT à la gestion d'une entreprise tout comme à un système automatisé.

### II.15.1.1.Objectif d'analyse fonctionnelle

L'objectif de cette étude doit mener les intervenants (ingénieurs, techniciens, opérateurs) à un tout qui soit cohérent et homogène avec le système à étudier. Dans n'importe quel système automatisé, circulent un certain nombre de flux de données (flux de pièces, flux d'informations, flux énergétiques, flux divers (Rebuts, déchets ...)). [20]

### II.15.1.2.Avantages d'analyse fonctionnelle

- Structure hiérarchisée par niveau permettant une clarification et une décomposition analytique de la complexité d'un système.
- préciser de plus en plus finement le rôle de chacun des éléments du système.
- Donner une vision globale du système par une analyse des niveaux successifs.
- Diagramme intemporel.
- Économie de temps.

### II.15.1.3.Inconvénients

- Pas de représentation séquentielle.
- Absence d'opération en logique booléenne (ET, OU, etc.).
- Impossibilité d'une vue globale, sauf au « niveau le plus haut ». [21]

### II.15.1.4.Représentation des fonctions

Chaque fonction est représentée par une boîte (ou un bloc). Une boîte SADT est située dans son contexte avec les autres boîtes ou modules, par l'intermédiaire de flèches de relation. Ces flèches symbolisent les contraintes de liaisons entre boîtes

- des flèches d'entrée horizontales représentant la matière d'œuvre (souvent à caractère informationnel et immatériel) ;
- des flèches d'entrée verticales descendantes représentant les contraintes de contrôle (souvent à caractère informationnel et immatériel) ;
- des flèches d'entrée verticales remontantes représentant les contraintes (souvent à caractère physique et matériel) de la boîte ;
- des flèches d'entrée verticales remontantes représentant la valeur ajoutée de la fonction (souvent à caractère informationnel et immatériel).



Figure II.3 : Méthode SADT. [22]

### II.15.1.5. Analyse descendante

La méthode, appuyée par le modèle graphique décrit précédemment, procède par approche descendante en ce sens que l'on va du plus général au plus détaillé, en s'intéressant aux activités du système.

Le premier niveau du modèle, appelé niveau A-0, est en général très abstrait, et progressivement les activités et les moyens nécessaires à leur réalisation sont détaillés. [19]

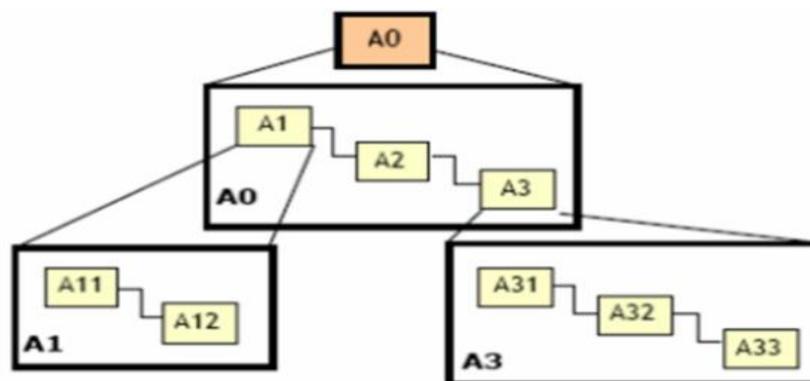
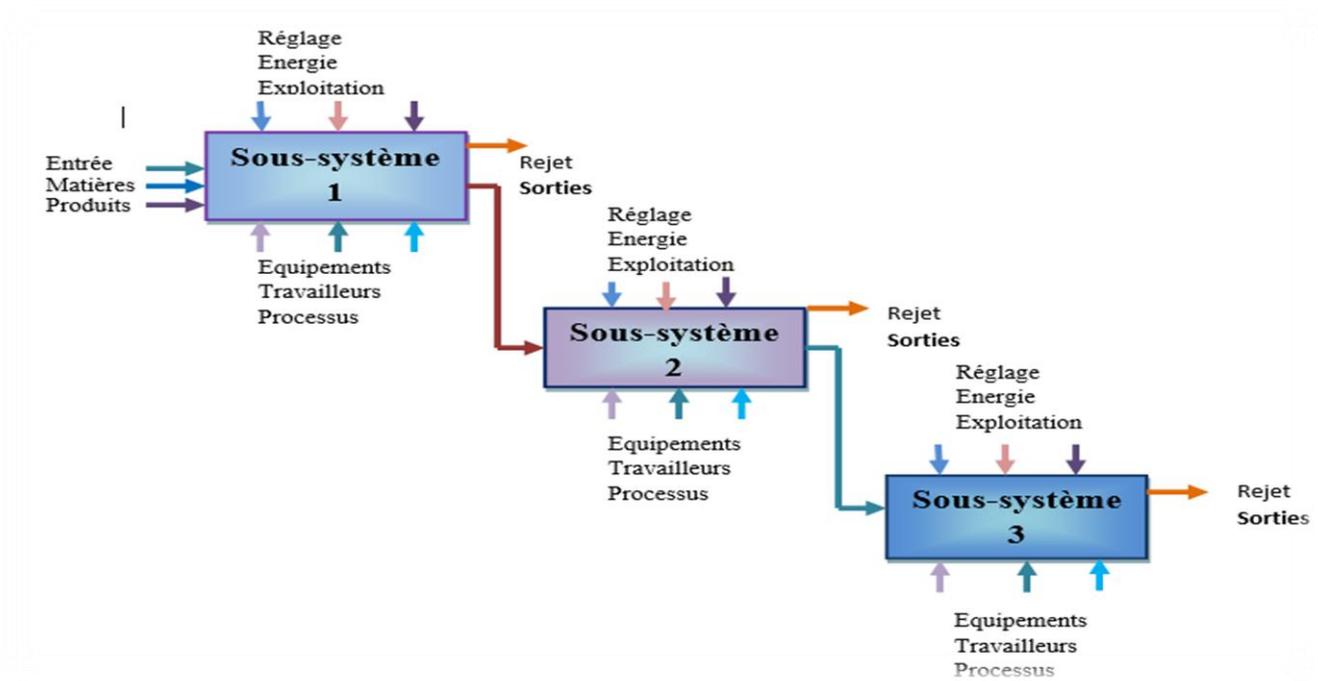


Figure II.4 : Niveaux de l'analyse descendante SADT. [20]

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

Le SADT est un outil graphique de représentation des systèmes et un travail d'équipe qui demande discipline et coordination. L'application de la SADT sur des systèmes extrêmement Complexe est une manière très efficace pour comprendre parfaitement le fonctionnement de ces systèmes et pour situer avec précision les éléments vulnérables et susceptible de crée un problème ou qu'on déjà causer un.



A0

Figure II.5 : Sous- niveau de l'SADT.

### II.15.2. Analyse Préliminaire des Risques (APR)

L'analyse Préliminaire des Risques a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaires, elle est utilisée depuis dans de nombreuses autres industries.

#### II.15.2.1. Définition

L'APR est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Il s'agit d'une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre. Cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire.

[23]

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

### II.15.2.2. But

Le but consiste à identifier les entités dangereuses d'un système, puis à regarder pour chacune d'elles comment elles pourraient générer un incident ou un accident plus ou moins grave suite à une séquence d'événements causant une situation dangereuse. Pour identifier les entités et les situations dangereuses susceptibles d'en découler, l'analyste est aidé par des listes de contrôles (check-lists) d'entités dangereuses, de situations dangereuses et d'événements redoutés. [24]

### II.15.2.3. Application

Bien que la technique d'APR soit normalement utilisée dans les phases préliminaires de conception d'un système ou d'un ouvrage où peu d'information est disponible sur les risques potentiels, elle peut aussi être utilisée pour analyser les grandes installations déjà en exploitation ou pour hiérarchiser les dangers lorsque les circonstances empêchent l'utilisation de techniques plus élaborées. [25]

### II.15.2.4. Principales étapes

- 1)- Identification des risques du système (Tableaux d'APR Fonctions / APR Éléments) ;
- 2)- Détermination de la gravité des conséquences (et éventuellement de la probabilité) ;
- 3) -Synthèse des APR et définition des mesures en réduction de risques. [26]

**Tableau II.2 : Méthode APR.**

N°	Systeme	Événement redoutés	Causses	Conséquence	F	G	C	Mesure de prévention	F'	Mesure de protection	G'	C'	Propositions remarques
----	---------	--------------------	---------	-------------	---	---	---	----------------------	----	----------------------	----	----	------------------------

La première ligne permet de situer la partie de l'installation étudiée. Les modes de fonctionnement normal, transitoire et dégradé sont étudiés dans l'analyse des risques.

Seules celles retenues apparaissent dans l'étude.

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

- **La colonne n°1** : Désigne les numéros des scénarios étudiés.
- **La colonne n°2** : Désigne le produit, l'équipement ou le système étudié en rapport avec la partie de l'installation désignée à la première ligne.
- **La colonne n°3** : Désigne l'Evènement Redouté Central (situation de danger).
- **La colonne n°4** : Désigne l'évènement Initiateur (cause de la situation de danger) .Un Evènement Redouté Central peut avoir plusieurs Evènements Initiateurs, aussi bien internes (défaillance mécanique, erreur humaine, points chauds, ...) qu'externes (effets dominos, ..).
- **La colonne n°5** : Désigne les Phénomènes dangereux susceptibles de découler de l'Evènement Redouté Central (conséquences et dommages créés à cause de ce évènement redouté).
- **La colonne n°6** : La fréquence ou la probabilité de répit dans le temps.
- **La colonne n°7** : La gravité des conséquences de ce évènement.
- **La colonne n°8** : La criticité (le résultat de produit de fréquence et probabilité).
- **La colonne n°9** : Equipement de Prévention avant l'incident survenu dans l'usine.
- **La colonne n°10** : Nouvelle fréquence après mesure de prévention
- **La colonne n°11** : Equipement de Protection après l'incident dans l'usine.
- **La colonne n°12** : Nouvelle gravité après mesure de protection.
- **La colonne n°13** : Nouvelle criticité.
- **La colonne n°14** : Propositions remarque pour éviter les accidents.

En revanche ;

- L'analyse préliminaire des risques ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des évènements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes ;
- Il s'agit d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées ,grâce à des outils comme l'AMDEC, l'HAZOP ou l'analyse par arbre des défaillances.
- Son utilisation seule peut être jugée suffisante dans les systèmes simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approche. [23]

### II.15.3. Méthode arbre de défaillances(AdD)

L'analyse par Arbre de Défaillances a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine « Bell Téléphone ». Elle fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles. Elle est employée pour identifier les causes relatives aux événements redoutés. En partant d'un événement unique, il s'agit de rechercher les combinaisons d'événements conduisant à la réalisation de ce dernier.

#### II.15.3.1. L'objectif

- A partir d'un événement final indésirable, rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou défaillances qui peuvent y conduire ;
- Réduire la probabilité d'occurrence de cet événement final. [27]

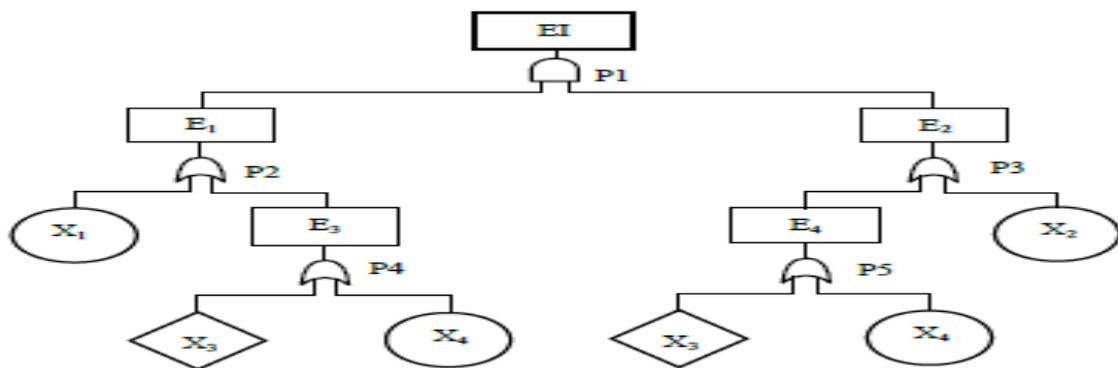


Figure II.6: Exemple d'une l'AdD. [28]

A titre illustratif, la figure II.9.3.2 montre un exemple simple d'AdD. La description des éléments dans l'AdD de la figure ci-dessus est la suivante :

- L'événement-sommet : EI (le rectangle étant utilisé pour l'événement-sommet et les événements intermédiaires, nous faisons une différence en dessinant le premier avec un trait plus épais) ;
- Les événements intermédiaires : E1, E2, E3, E4 ;
- Les événements de base élémentaires : X1, X2, X4 ;
- L'événement non développé : X3 ;
- P1 : Porte ET ;
- P2, P3, P4, P5 : Portes OU. [28]

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

### Remarque :

Les causes de l'arbre de défaillance sont immédiates, nécessaires et suffisants

### II.15.3.2. Principe

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

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

- Ces événements sont indépendants ;
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible ;
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être estimée. [27]

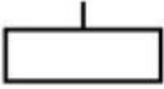
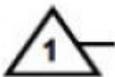
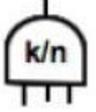
### II.15.3.3. Etapes

- Définition de l'événement redouté étudié ;
- Élaboration de l'arbre ;
- Exploitation de l'arbre. [24]

### II.15.3.4. Caractéristiques

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas. La ligne la plus haute ne comporte que l'événement dont on cherche à décrire comment il peut se produire. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont représentées par des liens logiques OU ou ET.

**Tableau II.3 : Syntaxe de l'arbre de défaillance. [29]**

Événement / report	Dénomination	Portes	Dénomination
	Événement de base		Porte « ET »
	Événement-sommet ou événement intermédiaire		Porte « OU »
	Report (sortie) Le sous-arbre situé sous ce « drapeau » est à dupliquer ...		Porte « OU exclusif »
	Report (entrée) ...à l'endroit indiqué par ce second drapeau		Porte « combinaison »

### II.15.4. Méthode arbre des événements (AdE)

Méthode appelée aussi arbre des conséquences, elle est bien adaptée pour apprécier les risques dans des installations industrielles contenant de nombreux systèmes de sécurité, c'est une approche inductive mettant en évidence les facteurs pouvant influencer les séquences d'événements conduisant à un scénario d'accident.

#### II.15.4.1. L'objectif

- Rechercher toutes les causes et les combinaisons de causes conduisant à l'événement de tête ;
- Déterminer si chacune des caractéristiques de fiabilité du système est conforme à l'objectif prescrit ;
- Vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances ;

## Chapitre II : Notions et Outils d'analyse des Risques

---

- Identifier le(les) facteur(s) qui a (ont) les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique ;
- Identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune. [30]

### II.15.4.2. Mise en œuvre

- Définir l'événement indésirable (Événement processus et événement non processus) ;
- Calculer ou recherche dans des banques de données sa probabilité d'occurrence ;
- Représenter graphiquement par un arbre les scénarios chronologiques d'événements aggravants. [24]

### II.15.4.3. Principes

Les arbres d'événements sont bien indiqués pour analyser les événements initiateurs qui pourraient conduire à une variété de conséquences. Un arbre d'événements met en évidence la cause initiale d'accidents potentiels et fonctionne à partir de l'événement initiateur jusqu'aux effets finaux. Chaque branche d'un arbre d'événements représente une séquence séparée d'accident qui est, pour un événement initiateur donné, un ensemble de relations entre les barrières de sécurité. [30]

### II.15.4.4. Intérêts et limites

- Méthode qui permet d'envisager de manière systématique tous les déroulements possibles d'un événement indésirable ;
- Le positionnement de barrières de sécurité (de défense) permet de :
  - Diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté ;
  - Limiter ses effets :
    - Volume de travail considérable pour les installations complexes : grand nombre de scénarios, d'arbres ;
    - Difficulté pour utiliser des probabilités d'occurrence ou des facteurs correctifs "spécifiques" à l'installation étudiée. [24]

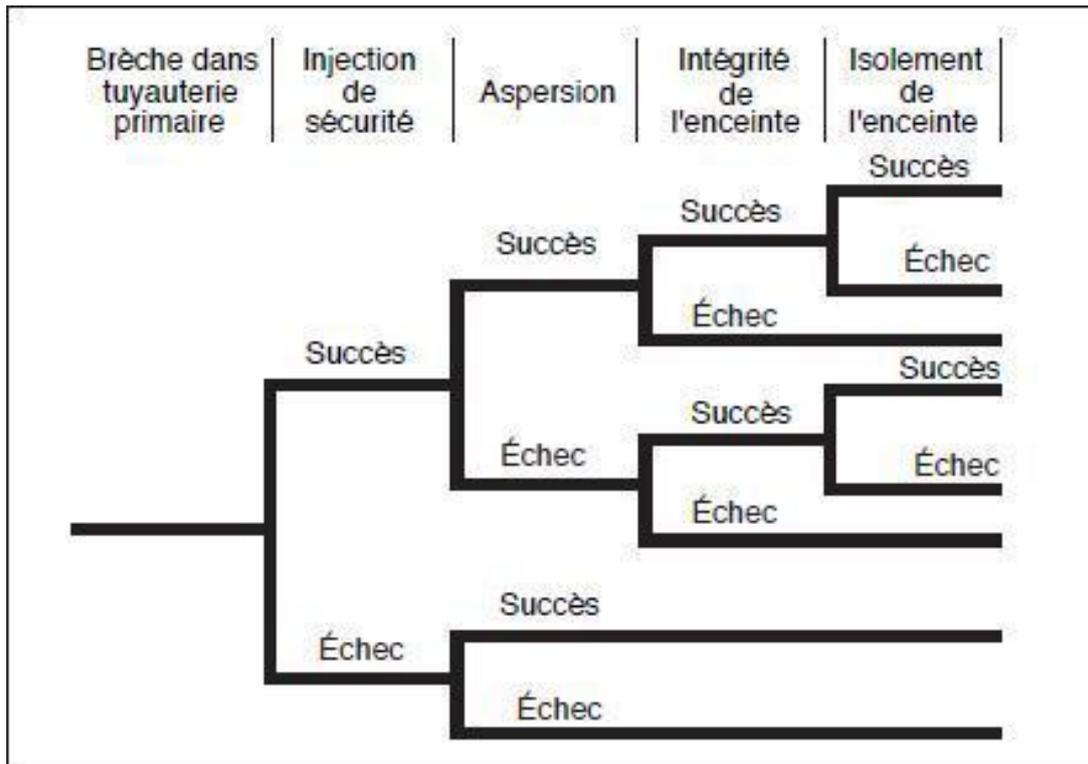


Figure II.7 : Modèle d'un arbre des événements. [22]

# **Chapitre III : Applications des méthodes d'analyse des risques**

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

---

L'étape analyse des risques constitue le cœur de la démarche de maîtrise de risque sur laquelle nous allons baser pour définir les scénarios critiques qui doivent être maîtrisés.

Dans ce chapitre nous allons aborder l'analyse des risques dans toute sa globalité. D'abord nous allons faire une analyse critique de l'étude de danger, en suite on expose à tous les détails sur les résultats obtenus après l'application des méthodes d'analyse des risques (APR, HAZOP, ADD, ADE, NÉUD papillon), dans le but d'identifier le système et le risque critique et d'estimer les facteurs de risque.

### III.1. Analyse critique de l'étude de danger (EDD)

L'étude de danger est une exigence réglementaire permettant d'autoriser l'exploitation des sites industriels classés. Elle s'inscrit dans la démarche de maîtrise des risques qu'un exploitant doit mettre en place en vue de sécuriser son établissement.

L'étude de danger est aussi un document technique qui caractérise les risques et qui a un rôle démonstratif, notamment pour ce qui est de l'identification des scénarios d'accidents majeurs et de la performance des mesures de maîtrise des risques.

#### III.1.2 Cadre réglementaire

En Algérie le décret exécutive n°06-198 du 4 jourmada El oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement (ICPE).

Ce décret comporte deux articles 14 et 28 portant sur les EDD. Selon l'article 14 de ce décret, l'EDD doit comporter les éléments suivants :

- Présentation générale du projet ;
- Description de l'environnement immédiate du projet et du voisinage potentiellement affecté en cas d'accidents comprenant les données physiques (géologie, hydrologie, météorologie et les conditions naturelles) et les données socio-économiques et culturelles (population, habitat, occupation des sols, activités économiques, voies de communication ou de transport et aires protégées) ;
- Description du projet et ses différentes installations (implantation, taille et capacité, accès, choix du procédé retenu, fonctionnement, produits...) en se servant au besoin de cartes (plan d'ensemble, plan de situation, plan de masse, plan de mouvement...) ;

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

---

- Identification de tous les facteurs de risque générés par l'exploitation de chaque installation considérée. Elle doit tenir compte non seulement des facteurs intrinsèques propre aux installations mais également à l'environnement auquel la zone est exposée;
- Analyse des risques et des conséquences au niveau de l'établissement classé afin d'identifier de façon exhaustive les événements accidentels pouvant survenir. Leur attribuer une cotation en termes de gravité et de probabilité permettant de les hiérarchiser avec la méthode d'évaluation des risques utilisée pour l'élaboration de l'étude de danger ;
- Analyse des impacts potentiels en cas d'accidents sur les populations (y compris les travailleurs au sein de l'établissement), l'environnement ainsi que les impacts économiques et financiers prévisibles ;
- Modalité de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité et des moyens de secours.

Suivant l'article 28 du décret exécutif n°06-198, l'EDD a pour objectif de :

- Préciser les risques directs ou indirects par lesquels l'activité de l'établissement classé met en danger les personnes, les biens et l'environnement, que la cause soit interne ou externe ;
- Définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents ainsi que les mesures d'organisation pour la prévention et la gestion de ces accidents ;
- Procéder à l'information préventive sur les risques du public, du personnel et des exploitants des installations voisines ;
- Favoriser l'émergence d'une culture du risque au voisinage des établissements ;
- Servir de base à l'élaboration des règles d'urbanisation et des plans d'urgence.

### III.1.3.Démarche d'analyse critique des EDD

Dans cette partie nous allons exposer les différentes étapes constituant notre démarche d'analyse critique d'EDD. Ensuite, nous allons montrer l'application sur le cas pratique de l'unité pharmal Dar El Beida.

Cette approche a été adoptée dans le cadre d'une analyse critique des EDD. [33]

Les différentes étapes d'une critique d'EDD sont résumées dans la figure III-1 :

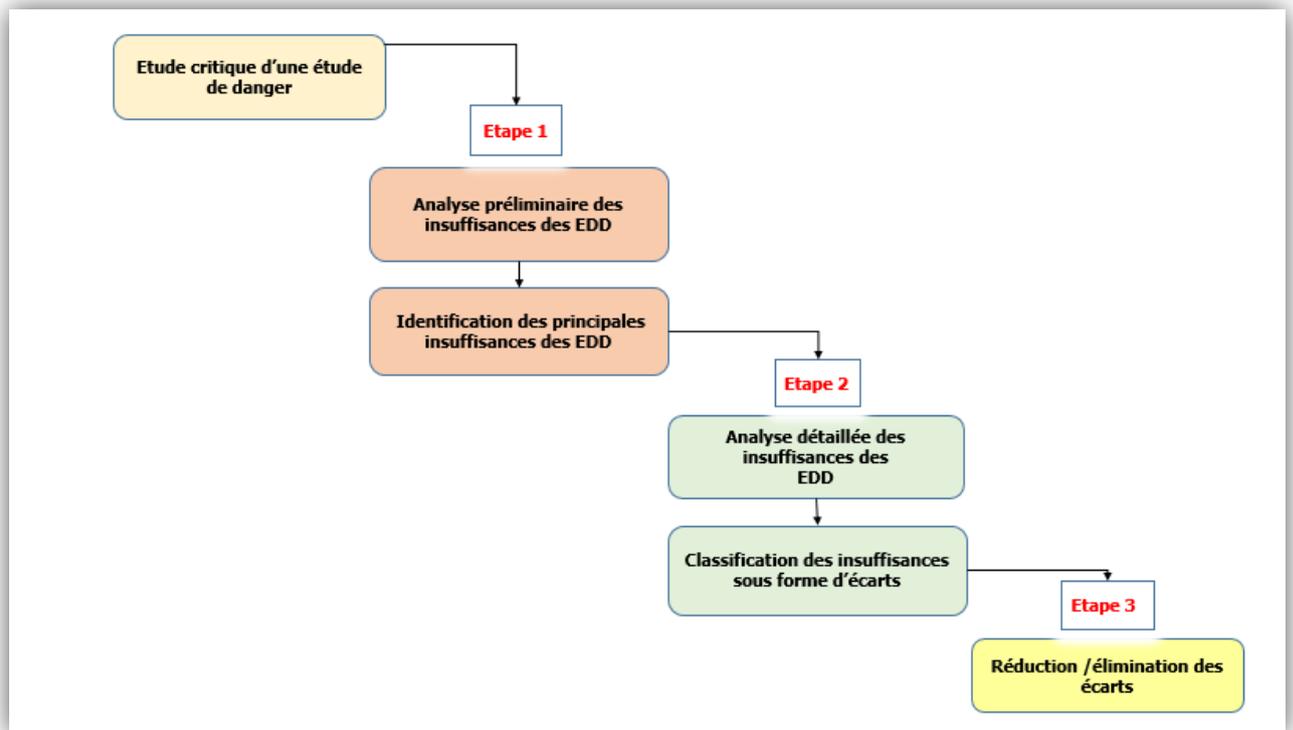


Figure III-1 : Démarche d'analyse critique des EDD. [33]

**III.1.3.1.Étapes de la démarche :** On a principalement 4étaps :

**Étape 1 :** Identification des principales insuffisances des Edd

Dans cette étape, nous avons caractérisé toutes les insuffisances du contenu de l'EDD, par rapport à ce qu'il a été mentionné dans l'article 14 du décret exécutif 06-198. Les insuffisances sont classées dans un tableau en fonction des chapitres développés dans l'EDD.

**Étape 2 :** Formulation des insuffisances sous forme d'écarts

La classification des écarts s'est faite en fonction des sous-écarts et des responsables de la mise en œuvre. Tous les écarts identifiés ont été classés par catégorie.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Le schéma de la Figure III-2 explique la répartition de l'écart résultat.

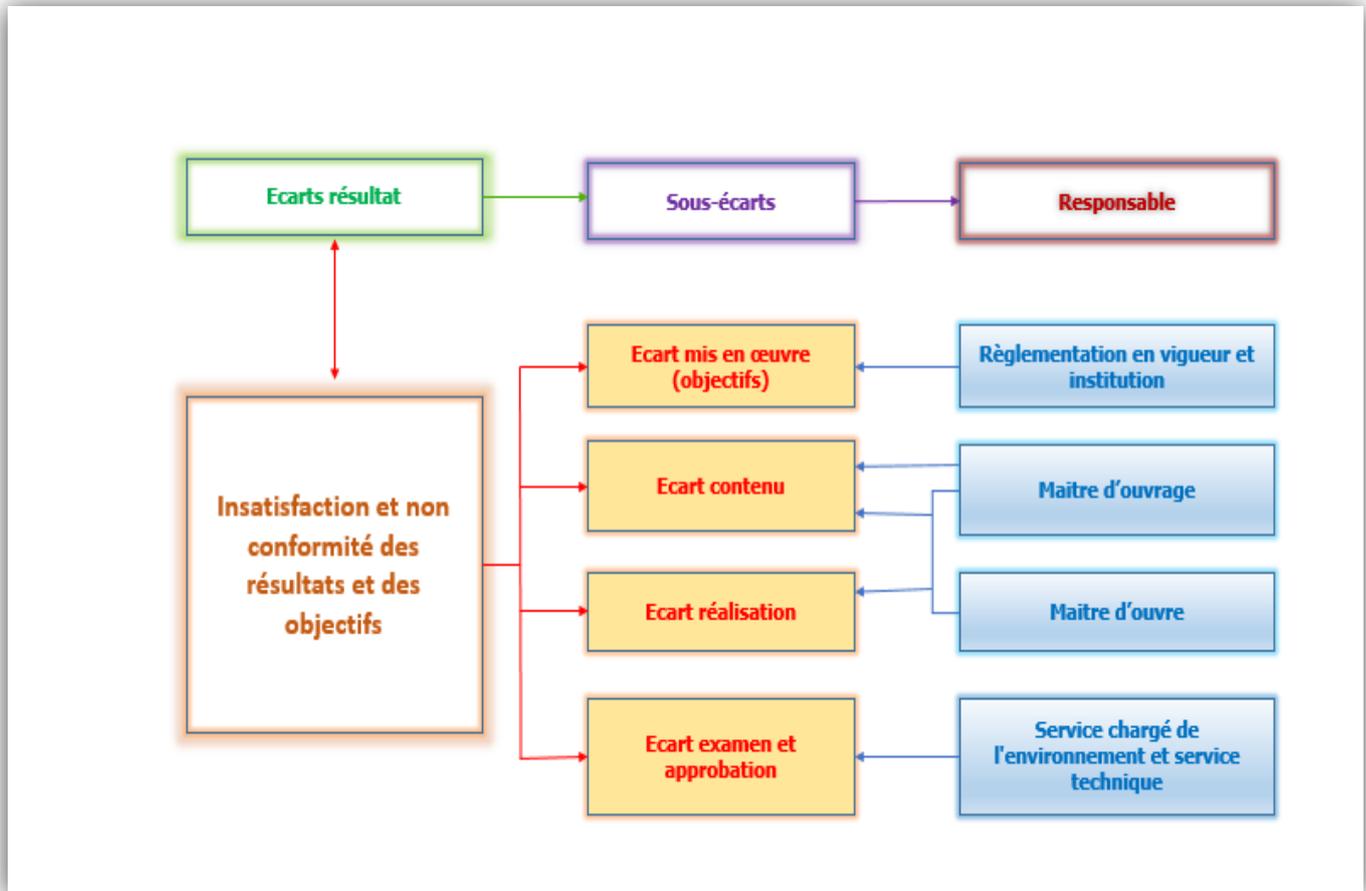


Figure III-2 : Identification et décomposition de l'écart résultat des EDD. [33]

➤ **Les types de sous écarts expliqués précédemment sont**

- **Écart mise en œuvre** : c'est l'écart entre ce qui a été tracé comme objectif et ce qui a été fait dans l'étude de danger (le résultat).

Écart contenu : ce sont des chapitres qui n'ont pas été traités dans l'EDD et qui ont été essentiellement décrits dans le cadre réglementaire.

- **Écart réalisation** : l'absence de toute évaluation des risques en utilisant des méthodes d'analyse (APR, AMDEC, ADD, Nœud papillon...) permettant de faire ressortir des scénarios plausibles susceptibles de se produire dans une installation bien déterminée.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Cet écart peut être dû suite au mauvais déploiement d'une méthode d'analyse (la méthodologie suivie ne correspond pas à celle décrite dans la bibliographie).

- **Écart examen et approbation** : c'est l'écart qui correspond aux critères d'examen qui n'ont pas été pris en considération lors de l'approbation de l'étude de danger.

### Étape 3 : Réduction/élimination des écarts

Cette dernière étape de la critique permet de nous renseigner sur les mesures à prendre en considération pour avoir une étude de danger conforme à la réglementation en vigueur.[34]

#### III.1.4.Application de l'analyse critique de l'EDD

Une critique de l'étude de danger de l'unité Pharmal Dar El Beida réalisé EURL-T.A.D en 22 Février 2006, a été effectuée.

**Étape 1** : Identification des principales insuffisances de l'étude de danger de l'unité Pharmal Dar El Beida. Les insuffisances relatives à chaque chapitre de l'EDD ont été relevées dans le tableau III.1.

**Tableau III.1 : Identification des insuffisances de l'EDD de l'usine SAIDAL Dar El Beida. [33]**

Contenus	Oui	Non	Écarts
Résumé non technique	×		Résumé non technique de l'étude de danger.
Description générale du projet	×		Description du projet, les plans et les différentes installations.
Description de l'environnement	×		La section industrie devrait être plus détaillée. La description de l'établissement nécessite plus d'informations vu que le projet est implanté dans la zone industrielle d'Oued Smar, et il y'a beaucoup de changement dans les dernières années.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Description du projet et de ses installations	×		Les installations présentes dans la zone de production n'ont pas été décrites et détailler dans cette étude. Les produits chimiques utilisés dans les opérations de fabrication des médicaments n'ont pas été mentionnés.
Identifications des facteurs de risque	×		Les conditions d'occurrence des risques majeurs sont citées mais d'une façon très simple et générale.
Analyse du risque	×		L'APR n'a pas été suivi d'autre méthode comme : AdD, AMDEC, Nœud papillon, HAZOP... Aucune méthode quantitative n'a complété l'APR.
Évaluation des risques majeurs	×		Evaluation très simple et générale.
Mesures de réduction des risques	×		Les barrières de sécurité proposée pour réduire quelque risque seulement.

**Étape 2** : classification des écarts résultats relevés de l'EDD selon le type du sous-écart auxquels ils sont appropriés.

Nous avons classé les écarts identifiés par catégories dans le tableau **III.2**.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Tableau III.2: Classement des insuffisances sous forme d'écart.

Écart mis en œuvre (objectifs)	Écart contenu	Écart réalisation	Écart examen
Les conditions d'occurrence des risques majeurs sont citées mais d'une façon très simple et générale. Les barrières de sécurité proposée pour réduire quelque risque seulement.	Absence de schéma démonstratif des points faibles des installations à haut risque. Les installations présentes dans la zone de production n'ont pas été décrites et détailler dans cette étude. Les produits chimiques utilisés dans les opérations de fabrication des médicaments n'ont pas été mentionnés. La description de l'établissement nécessite plus d'informations vu que le projet est implanté dans la zone industrielle d'Oued Smar, et il y'a beaucoup de changement dans les dernières années.	Leur identification des scénarios a été faite de manière générale. L'APR n'a pas été suivit d'autre méthode comme : AdD AMDEC, Nœud papillon, HAZOP...	Les scénarios proposés ne sont pas suffisant et manque de détail et de précision. Aucune méthode quantitative n'a complété l'APR.

### Étape 3 : Réduction/élimination des écarts.

Les actions mise en place pour permettre une réduction des écarts sont les suivantes :

- Suivi d'une méthodologie de travail conforme à celle dictée dans la réglementation, pour faciliter l'expertise et le suivi des résultats.
- Suivit le contrôle de l'EDD lors la réalisation par les services compétents de l'unité pharml Dar El Beida.
- Veille sur l'atteinte des objectifs fixés par la réglementation en matière des EDD.
- Examen de la forme et du fond de l'EDD avant l'approbation.
- Mise à jour de l'EDD tous les cinq ans ou après chaque modification dans la chaudière.

Durant l'analyse de l'EDD de l'unité pharml Dar El Beida, nous avons identifié des insuffisances potentielles, sur le plan réglementaire, la mise à jour de l'EDD et sur la

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

démarche suivie, qui devraient être prises en considération afin que l'entreprise soit sécurisée de tous les risques majeurs qui peuvent toucher à ses ressources (humaines et matérielles).

Pour remédier aux écarts identifiés, il s'est avéré nécessaire de refaire la partie analyse et la partie maîtrise des risques de l'EDD de l'unité pharma Dar El Beida, et de définir les matières premières utilisables dans la fabrication des médicaments et leurs dangers.

À travers l'EDD, nous avons trouvé que le risque le plus élevé réside au niveau de la chaudière, donc notre travail de mémoire est basé sur les risques majeurs des chaudières.

### III.2. Méthode SADT

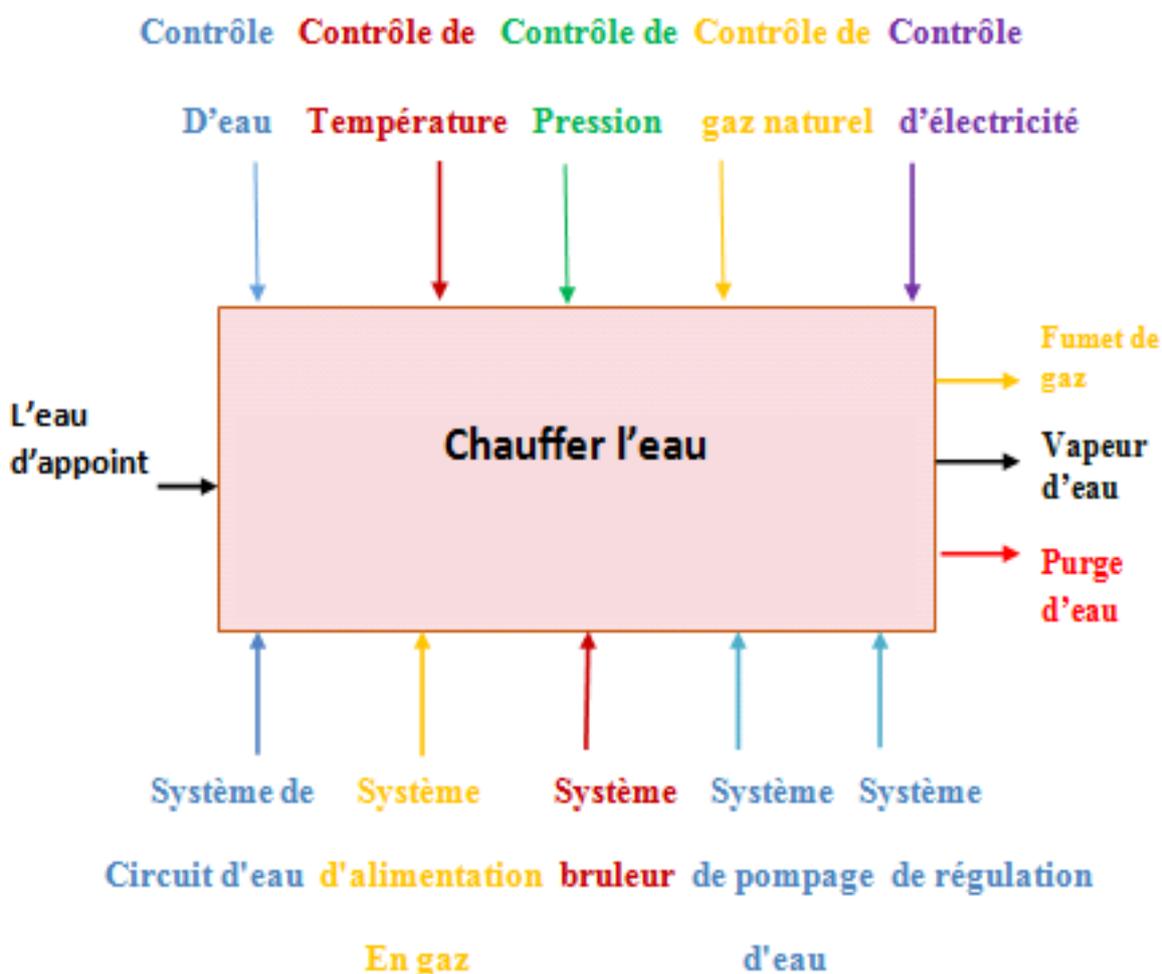


Figure III.3 : SADT de chaudière à vapeur.

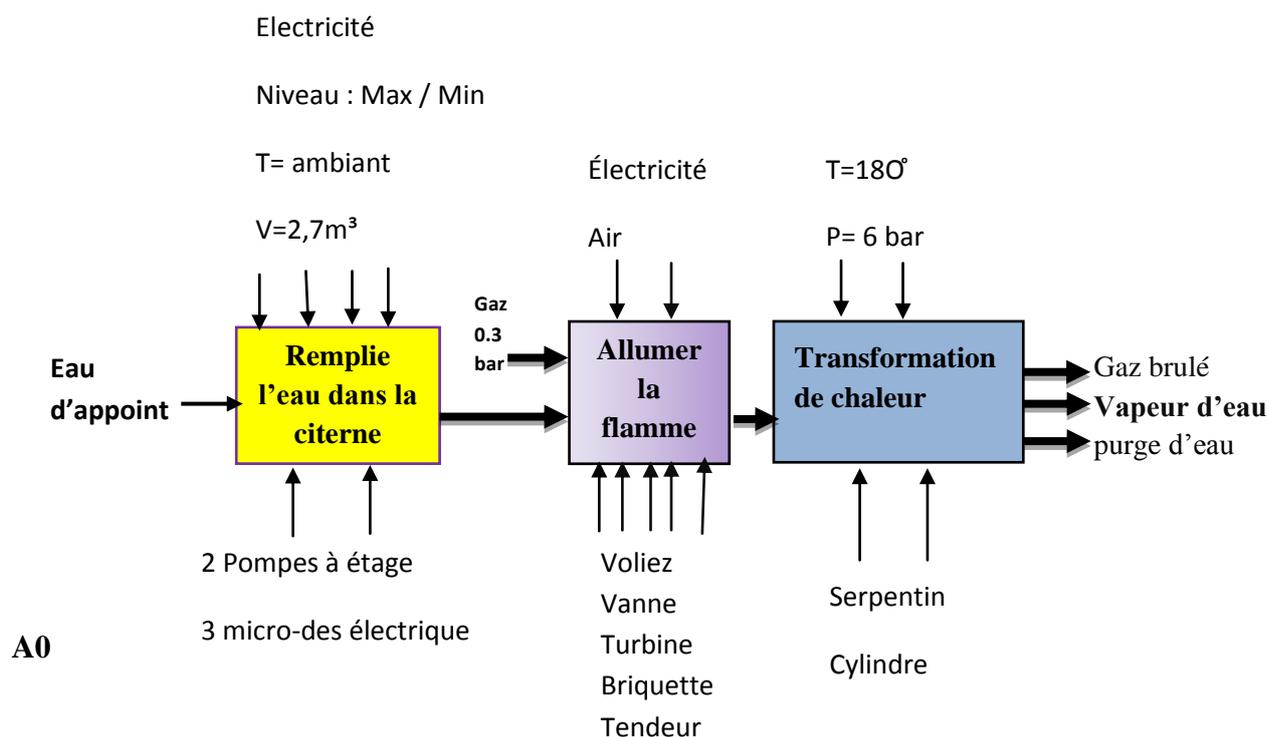


Figure III. 4: Sous-système fonctionnels de la chaudière.

### III.3.Analyse préliminaire de risque (APR)

Durant cette étape, nous allons procéder à un découpage fonctionnel de système présents, afin d'aller en profondeur et en détaille pour déterminé tous les ER par l'application de méthode d'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

Le tableau de l'annexe 1 représente les différents sous système et leurs ER. Chaque ER à plusieurs causes probables.

Les échelles de cotation en probabilité et en gravité que nous avons utilisées pour le déploiement de l'APR ont été validées avec l'équipe du département EHS de l'entreprise. Les tableaux sont représentés dans l'annexe 1.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Plusieurs grilles de criticité existent dans la littérature scientifique. Nous pouvons les recenser selon les différentes approches : qualitatives, semi quantitatives, quantitatives. Ainsi, l'APR se propose d'utiliser d'avantage l'approche qualitative.

Les tableaux présentent les échelles de cotation en probabilité et gravité que l'équipe de travail a choisie pour l'analyse des risques d'accident majeur.

### III.3.1.Hiérarchisation des évènements redoutés selon leur criticité

Dans ce tableau en hiérarchisiez les évènements redoutés en type décroissant et en a trouvé que l'évènement redouté le plus critique c'est une diminution d'eau au niveau de système de remplissage et réglage d'eau avec une valeur de 9

**Tableau III.3 : Hiérarchisation des évènements redoutés.**

Classement	Système	Evènements redouté	Criticité	Scénario
1	Système remplissage et réglage d'eau	Diminution d'eau	9	Fuit d'eau à cause de vétusté de la canalisation va donner une diminution d'eau dans la chaudière ce phénomène dangereux va augmenter la pression et la chaleur dans la chaudière et automatiquement la catastrophe.
2	Système d'allumage	Fuite de gaz	6	Une fuite de gaz peut être due à une défaillance d'un élément de système avec l'absence de contrôleur tout ça va créer une accumulation de gaze non contrôlé qui va se traduire par une explosion.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

3	Système d'allumage	Perte de flamme	6	La perte de flamme à cause de blocage de vanne de gaz suit à une défaillance va donner une petite accumulation de gaz mais ce petite quantité peu crée une explosion.
4	Système d'allumage	Ratage d'allumage	6	Si la lampe photocellule grillée on ne peut pas détecter la grandeur de flamme donc la chaudière ne fonction pas.
5	Système remplissage et réglage d'eau	Fuite d'eau	4	Une fuite d'eau à cause d'une vétusté, travaux à proximité ou maintenance adéquate va perte d'eau adoucie et on suite va diminuée de pression est donc arrêt de production.
6	Transformation d'énergie	Gèle bloquée	4	Les sels dépôt après chaque utilisation de chaudière va purger mais si la vanne est détériorée ou bloqué l'espace d'eau va diminuer et la chaleur et la pression va augmenter.
7	Transformation d'énergie	Pas / Petite quantité de vapeur	3	A cause de manque d'eau dans la chaudière la quantité de vapeur est très petite, la pression et la chaleur va augmenter.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

8	Système remplissage et réglage d'eau	Excès d'eau	2	L'eau est sur le niveau réglementaire et la vanne manuelle pour arrêter ce remplissage est défectueuse on va arrêter la chaudière et on perd beaucoup d'eau adoucie.
9	Système remplissage et réglage d'eau	Défaillance de pompe a étage	2	La panne de la pompe arrête le remplissage d'eau et va arrêter la production de vapeur.
10	Transformation d'énergie	Détérioration des tubes et cylindre	1	Par effet de corrosion à long terme les tubes de chaudière vont détériorer et peuvent créer des fuites qui peuvent grandir par la pression et donner des pertes réelles.

### Remarque

Il est à noter que l'étude de ces scénarios demande des méthodes plus détaillées et plus approfondies que l'APR

### III.3.2.Moyenne de criticité

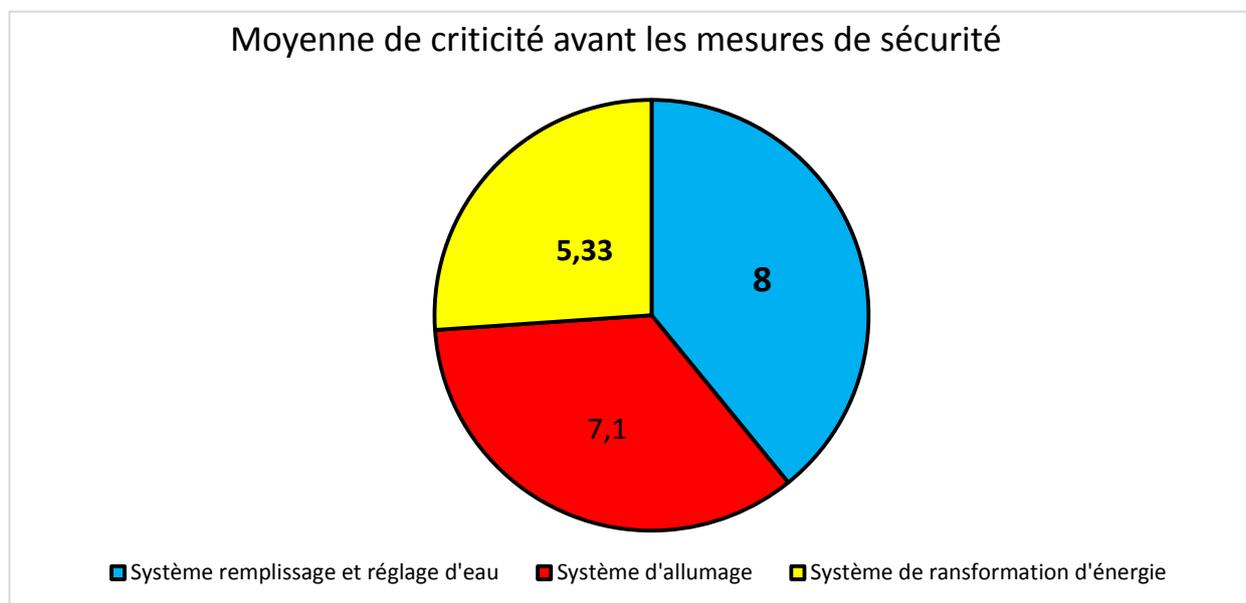
Dans ce tableau nous avons aussi calculé les moyennes de criticité par système pour faire ressortir le système le plus critique et le résultat est affiché dans ce tableau :

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

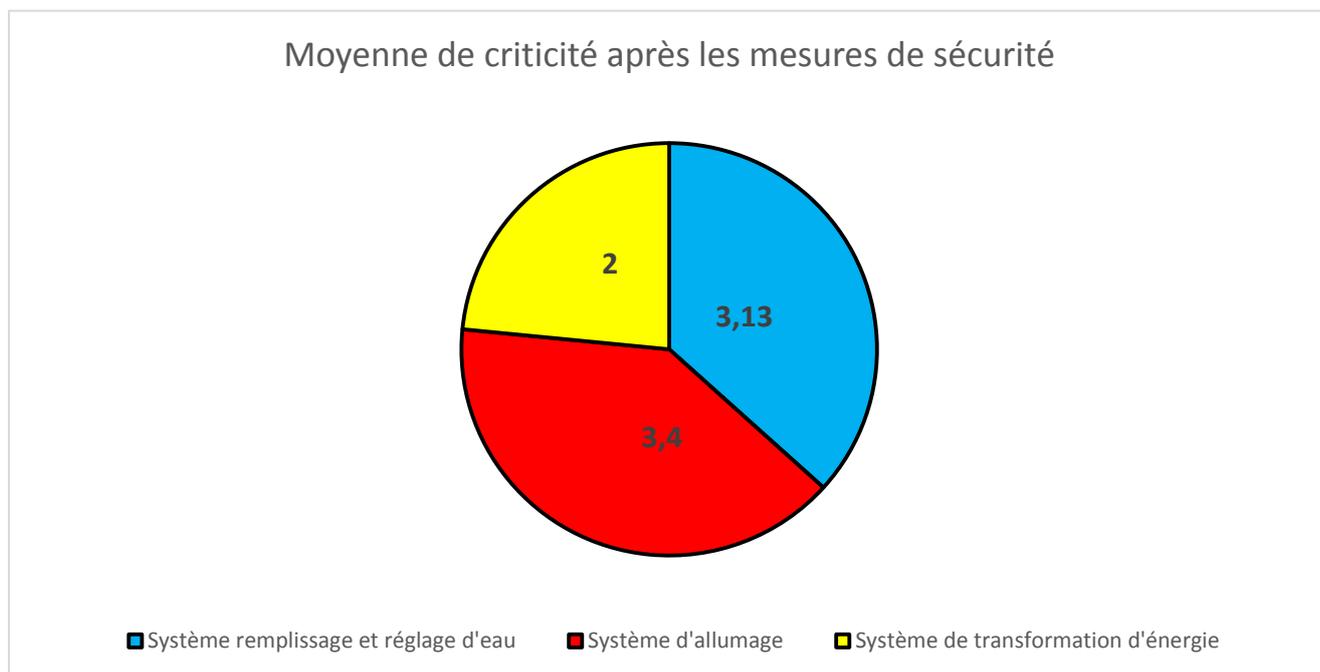
**Tableau III.4 : Moyenne de criticité avant et après les mesures de sécurité.**

Systeme	Moyenne de criticité avant les mesures de sécurité	Moyenne de criticité après les mesures de sécurité
Systeme remplissage et réglage d'eau	8	3,13
Systeme d'allumage	7,1	3,4
Systeme de transformation d'énergie	5,3	2

Nous avons proposé les graphes suivants afin de faciliter la vision générale des moyennes



**Figure III.5 : Niveaux des risques avant les barrières de sécurité**



**Figure III.6 :Niveaux des risques âpres les barrières de sécurité**

Nous constatons que le système le plus critique qui se présente est bien le système de remplissage et de réglage d'eau avec une contribution de criticité de 39.22%.

### II.3.3.Interprétation des résultats de l'APR

Selon le résultat de la répartition des risques critiques étudiés par l'APR.

Nous remarquons que le système de remplissage et de réglage d'eau (système A) représente 45.71 % des risques (9risques=50%) dans la zone vert et (7risques = 41.18 %) dans la zone jaune.

Le système d'allumage quant à lui (système B) représente 28.57% des risques (3risques=16.67%) dans la zone vert et (7risques = 41.18 %) dans la zone jaune.

Pour ce qui est du système transformation d'énergie (système C) qui représente 25.71% des risques (6 risques=33.33%) dans la zone verte et (3risques = 17.64 %) dans la zone jaune.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

---

Après l'implémentation des mesures proposées, la moyenne de criticité des trois systèmes diminue considérablement.

Pour donner un résultat plus approprié, nous ne pouvons pas juger la méthode APR comme étant une méthode suffisante mais pour une maîtrise plus précise et détaillée, nous avons besoin d'autres méthodes complémentaires.

L'objectif de la méthode APR est d'analyser la chaudière ainsi que ses risques d'une manière superficielle mais aussi globale pour déterminer la situation dangereuse de ce générateur de chaleur.

Nous avons divisé notre chaudière en trois systèmes avec dix événements redoutés, six événements parmi les dix événements sont classés dans la zone critique ou inacceptable et les quatre restants dans la zone acceptable sous condition. Cependant d'après l'implémentation des mesures de sécurité il ne reste aucun événement redouté dans la zone critique.

Nous avons donc choisi de traiter le système remplissage et réglage d'eau (système A) qui présente plus de risque critique. Pour remédier à ces derniers nous avons décidé d'établir toute une étude complétée par d'autres méthodes dans le but d'analyser les risques critiques comme l'arbre de défaillance.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Tableau III.5 : Répartition des risques dans la grille de criticité après les mesures de préventions.

Gravité \ Probabilité	Mineur 1	Signifier 2	Grave 3	Ter Grave 4
Fréquent 4				
Peu fréquent 3				
Rare 2	A-1-1 A-2-4	A-4-1 A-4-3 C-3-2 C-3-3	A-3-4 B-2-1 B-2-3 B-3-1	
Très Rare 1	A-1-2 A-1-3 A-1-4 A-2-1 A-2-2 A-2-3 C-1-2 C-2-1 C-2-2 C-2-3 C-3-4	A-4-2 B-1-2 B-1-3 B-1-4 C-3-1	A-3-3 A-3-5 B-2-2 B-3-2 C-1-1	

### III.4. Arbre de défaillance (AdD)

Fuite dans la canalisation, fermeture de la vanne ou défaillance de la pompe d'alimentation en eau sont les causes principales de la diminution du niveau d'eau dans la chaudière à vapeur. Cette méthode nous permet de définir tous les causes principales de notre événement redouté que soit la diminution de niveau d'eau.

Le scénario retenu : Explosion de la chaudière à vapeur suite à la diminution importante du niveau d'eau et l'implosion de la chaudière a des impacts sur les personnes, les biens et l'environnement d'où la nécessité d'introduire des barrières de prévention pour éviter que l'événement redouté central ne survienne, et des barrières de protection pour limiter les conséquences de cet événement et la méthode Arbre Des Evénements c'est la meilleure méthode dans ce cas .

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

---

De ce fait, nous avons été amené à appliquer la méthode d'arbres de défaillance AdD sur l'événement redouté pour regrouper l'ensemble des événements initiateurs ainsi que leurs combinaisons.

Nous utilisons l'arbre de défaillance simplifiée pour l'ER = Diminution de niveau d'eau identifiées. Par manque de probabilité de défaillance nous avons opté pour la méthode simplifiée donnant souvent des résultats qualitatifs de bonnes qualités.

### III.4.1. Méthode : Simplifier

Les niveaux de probabilités sont établis et appliqués à chaque événement

- P = 1 Improbable
- P = 2 Événement extrêmement rare
- P = 3 Événement très rare
- P = 4 Événement rare
- P = 5 Événement possible mais peu fréquent
- P = 6 Événement fréquent
- P = 7 Événement très fréquent

#### • Porte ET

L'événement de sortie S est généré si les événements E1 et E2 sont présents simultanément

- Le niveau résultant est le **plus petit** des niveaux d'entrée (aux pires des cas)
- Le niveau résultant est le **plus petit** des niveaux d'entrée **moins 1** (aux meilleurs des cas)

#### • Porte OU

L'événement de sortie S est généré si l'un au moins des événements E1 et E2 sont présents

- Le niveau résultant est le **plus élevé** des niveaux d'entrée.
- Interprétations de l'AdD

D'après les résultats obtenus dans l'arbre de défaillances, l'événement redoutés c'est la diminution de niveau d'eau et après l'application de la méthode simplifiée nous trouvant un résultat d'une probabilité 5 (événement possible mais peu fréquent) les événements et leurs combinaisons représenter dans cette figure si dessous. [33]

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

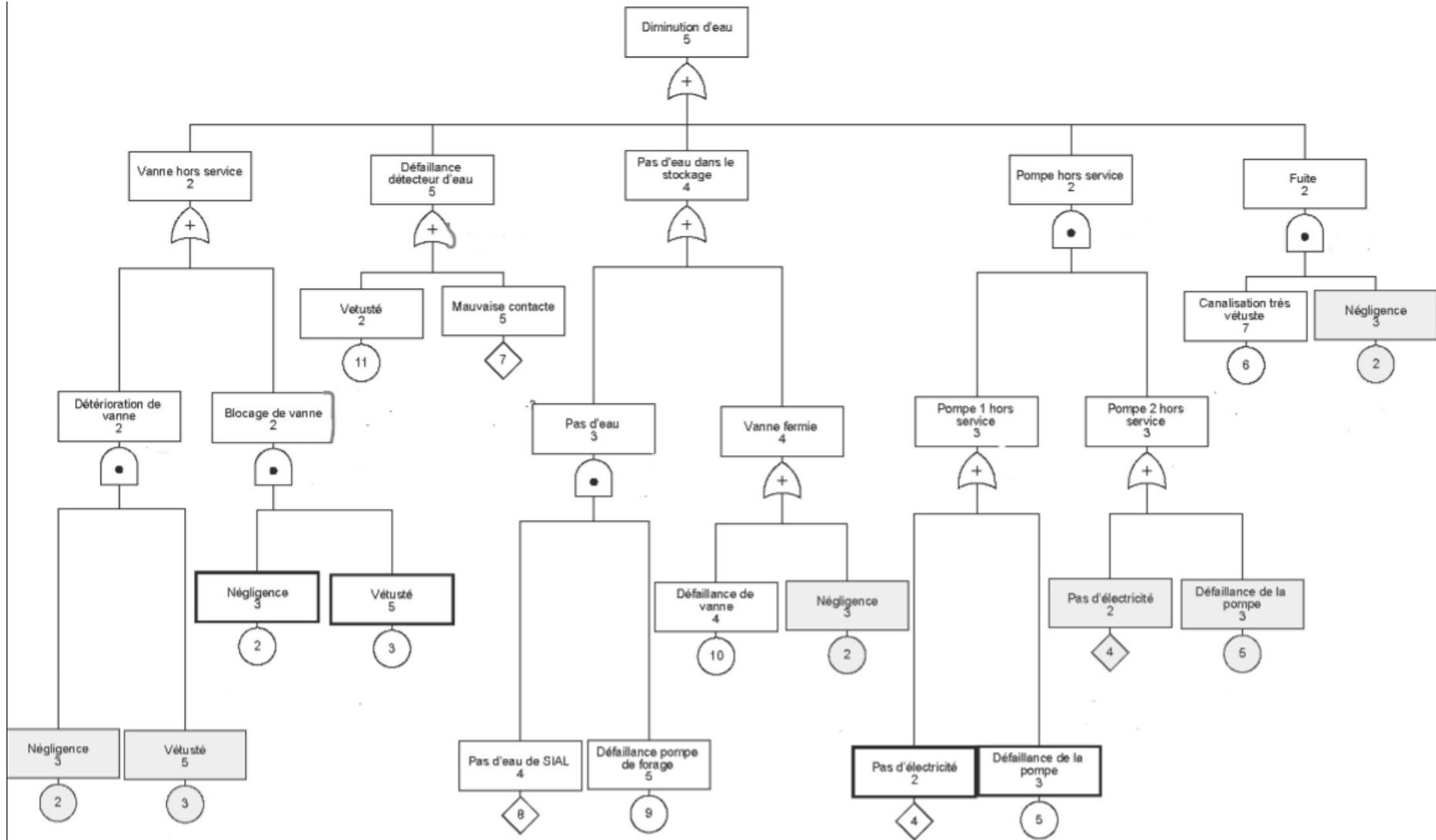


Figure III.7 : Application de la méthode Add

## III.5. Interprétation des résultats de l'arbre des évènements

On complète l'arbre de défaillance par une autre méthode, c'est l'Arbre des évènements afin de déterminer les conséquences probable avec ses mesures de protection d'une simple façon.

Le schéma suivants représente ses conséquence et on la suivie par les détails de les barrières de protection déterminée dans cette arbre.

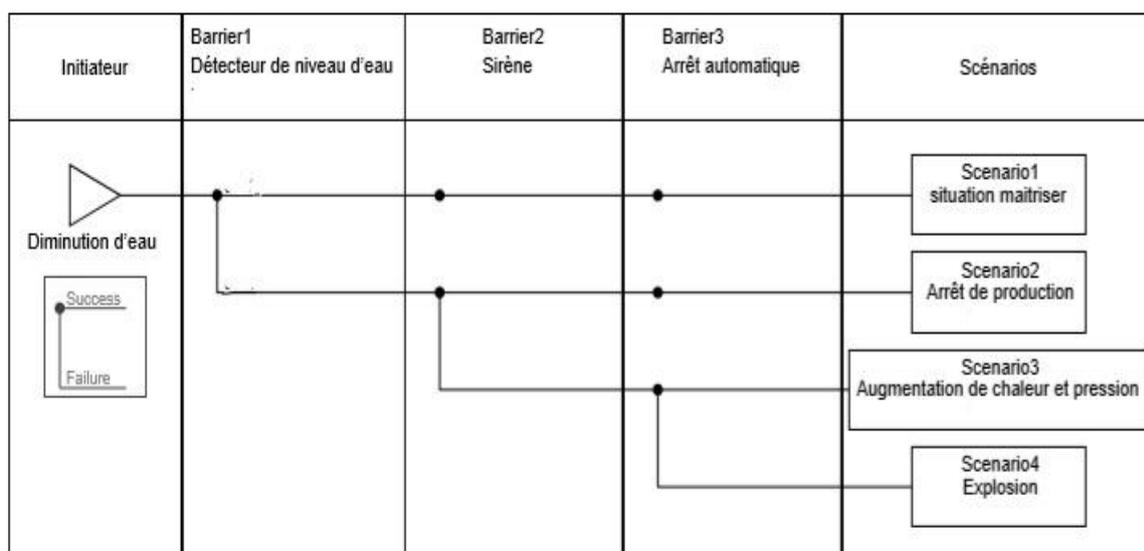


Figure III.8 : Application de méthode AdE

## II.6. Barrières de sécurité existante

Au niveau de chaudière nous trouvant des barrières de sécurité existante comme :

### III.6.1. Détecteur de niveau d'eau

Nous avons deux types de détecteurs (visuel et automatique), mais nous traiterons que le détecteur de niveau d'eau automatique responsable de l'arrêt du fonctionnement de la chaudière automatiquement en cas de diminution d'eau.

Le capteur de niveau est un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur d'eau dans la chaudière, ce type de détecteur fonction comme une alarme haute, pour signaler une condition de débordement ou en tant qu'indicateur pour une condition alarme basse.

## Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

Pour créer un système de gestion de niveau, le signal de sortie est relié à une boucle de commande de procédé et à un indicateur visuel.



**Figure III.9 : Détecteur de niveau d'eau.**

### III.6.2.Sirène

La sirène est un appareil destiné à avertir en produisant un fort signal sonore d'alarme à une puissance très élevée pour une intervention immédiate.



**Figure III.10 : Sirène.**

# Chapitre III : Application des méthodes d'analyses des risques

---

## III.6.3. Arrêt automatique par une armoire électrique

L'arrêt automatique de chaudière est le dernier outil de protection, il se fait à l'aide de l'armoire électrique qui procède à la coupure de l'électricité de tous les équipements reliés aux fonctionnements des chaudières.

Ce système est un système de réglettes et de fixations, permettant d'accrocher les différents modules pour une commande générale.



**Figure III.11 : Armoire électrique.**

# **Chapitre IV : Simulation des effets et actions de maitrise**

## IV.PHAST

### IV.1.Définition

PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risques de procédé c'est un logiciel utilisé pour évaluer les situations présentant des risques potentiels pour le personnel, les installations et l'environnement, et pour mesurer la gravité de ces situations

Il a été développé par DNV Software, reconnu comme le leader mondial dans le domaine de l'évaluation de risques et des accidents industriels majeurs, il est aussi un précieux outil d'aide à la décision en matière de risque industriel et de sécurité publique.

. C'est un logiciel de simulation de dispersion dans l'air. Il est employé pour modéliser des écoulements dans l'air à des fins d'études écologiques ou de sécurité industrielle.

PHAST examine la progression d'un incident potentiel de la fuite initiale à la dispersion en champ lointain, incluant la modélisation des effets de l'inflammabilité, l'explosion et la toxicité.

PHAST est une collection des applications : PHAST, PHAST Financial, PHAST Risk et PHAST Risk Financial. [36]

Pour atteindre vos objectifs en matière de gestion des risques, vous devez avoir une compréhension solide des dangers présentés par une installation de traitement. Utilisez l'outil d'analyse des dangers du processus PHAST pour évaluer rapidement et avec précision les risques potentiels posés par divers types de dangers. [35]

### IV.2.Avantages de l'utilisation

- Faciliter l'élaboration et la mise en œuvre des évaluations des risques pour des fins d'études de danger ;
- Faciliter les études pour la réduction des coûts en termes de pertes et d'assurances ;
- Permettre l'optimisation de la conception du site et des procédés ;
- Permettre la détermination des niveaux de gravité en tenant compte des conséquences. [36]
- Résultats fiables de l'analyse des risques liés aux processus - les modèles intégrés sont constamment validés et vérifiés

## Chapitre IV : Simulation des effets et actions de maîtrise

---

- Capacité de production de rapports étendue - rapports et graphiques complets pour un affichage facile et intuitif des résultats, par exemple sur des cartes de localisation et des schémas de configuration d'usine
- Évaluez divers dangers - évaluez un large éventail de dangers inflammables et toxiques pour la gestion de la sécurité des processus.[35]

### IV.3.Modélisation des conséquences

- Il améliore la compréhension des dangers potentiels par les utilisateurs ;
- Les mises à jour régulières du logiciel incorporent les expériences et les expertises les plus récentes dans l'industrie. [36]

### IV.4.Application de PHAST

Nous avons simulé et modélisé les effets du phénomène d'Explosion sur la chaudière qui représente la plus grande risque critique, car ce dernier peut être la cause et la source de danger des d'effets dominos important et très dévastateur pour toute l'établissement en cas d'explosion.

Ce phénomène se passe en cas d'un fuit au niveau de brulure avec une grand accumulation de gaz dans le foyer de chaudière suivie par un allumage de chaudière pour un fonctionnement habituelle.

#### IV.4.1. Paramètres de modélisations

- Le volume de gaz utilisé que peut contenir le foyer de chaudière ;
- La température et la pression de chaudière ;
- Les conditions météorologiques : la température de la région et l'humidité.
- Capture de l'emplacement de l'usine SAIDAL par Google Mapp.

Dans notre cas, nous avons collecté les données utiles pour l'application du modèle TNT sur le logiciel PHAST.

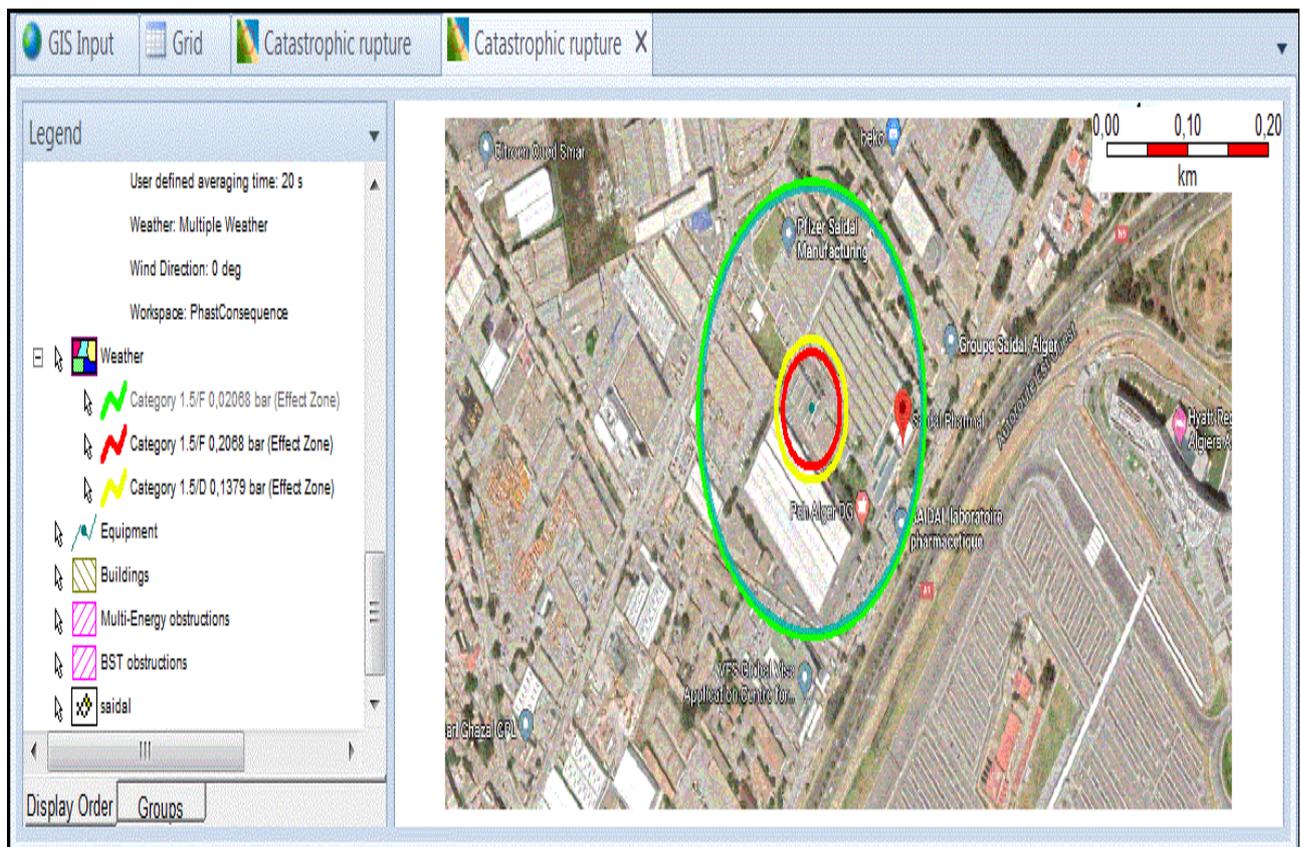
# Chapitre IV : Simulation des effets et actions de maitrise

## IV.4.2.Données de simulation

- Volume de gaz de ville dans le foyer 11,2 m<sup>3</sup> ;
- Pression de chaudière 6 bars ;
- Température de la région 23,4 °C ;
- Hauteur élévation de la chaudière H= 2m ;
- les autres données pour l'application sont pris par défaut (valeur du logiciel)

## IV.4.3.Résultats

Suite à l'utilisation du logiciel PHAST sur la chaudière, nous avons obtenu un taux de remplissage à 89% de Butane : Volume du combustible (11,2 x 0,89)= 10m<sup>3</sup> ;



**FigureIV.1 : Distances des Effets de l'explosion de chaudières**

## Chapitre IV : Simulation des effets et actions de maîtrise

---

**Tableau IV.1: Seuil de surpression donnée le logiciel PHAST.**

Surpression (mbar)	Distance (m)
20	102
137	45
200	29

### IV.5. Interprétation des résultats du logiciel PHAST

Le rayon rouge est caractérisé par une distance de 29 m et une surpression de 200 mbar d'après les seuils d'effets de surpression référencée retenus dans la littérature, cette limite de surpression présente des dommages irréversibles et létaux aux personnes présentes dans le périmètre du premier cercle. En plus, des effets sur l'homme, elle peut engendrer une destruction structurelle aux murs et aux installations avoisinantes situées à une distance inférieure ou égale à 45 m à partir de l'origine de l'explosion.

Les installations se trouvant dans SAIDAL seront directement exposés à cette surpression en cas d'explosion. Et ce phénomène devient plus catastrophique à cause de l'effet domino sur les autres installations surtout à la zone de stockage des médicaments et produit de fabrication.

Le rayon jaune est caractérisé par une distance de 45 m et une surpression de 137 mbar. Cette limite de surpression, malgré qu'elle est inférieure à la première, elle reste dangereuse car elle est toujours supérieure au seuil de surpression susceptible de provoquer des dommages irréversibles, entraînant la mort des personnes et aussi la destruction des infrastructures.

Après avoir modéliser les effets du phénomène le plus dangereux à l'aide du logiciel PHAST pour déterminer la zone critique qui entoure le danger et les distances atteintes par chaque seuil, et également avoir des connaissance des cibles visées afin de situer l'endroit vulnérable qui nécessite une mise en place de moyens de réduction du risque d'explosion.

## Chapitre IV : Simulation des effets et actions de maîtrise

---

Cette étape c'est la dernière étape de la démarche de la gestion des risques, puisque cela concernera les solutions proposées pour la réduction des risques majeurs qui puissent toucher l'intégrité de l'installation, les travailleurs et leur environnement.

Le PHAST nous a montré que la protection de type atténuation des effets ne peut être préconisé vu que les effets peuvent atteindre une distance de 102 m pour surpression de 20 mbar, néanmoins nous proposons des barrières intermédiaires entre ER<sub>C</sub> perte de confinement et les phénomènes dangereux

On va proposer une protection permettant d'atteindre notre objectif en prenant en compte les résultats de l'analyse de risque et de la modélisation.

# Conclusion

---

Le but de notre travail est de faire l'analyse des risques au niveau de la zone la plus critique dans l'industrie pharmaceutique SAIDAL, qui est la zone de chaudière à vapeur.

Pour se faire, nous avons procédé à l'analyse critique de l'étude de danger au niveau de l'entreprise, qui démontre que le risque le plus élevée se trouve dans la zone chaudière car elle peut provoquer des risques majeurs comme l'explosion et l'incendie.

Après l'application de la méthode SADT, qui permet de décomposer la chaudière à des sous-systèmes pour facilite la vision générale des systèmes de la chaudière, les résultats démontrent la présence de trois principaux sous-systèmes, à savoir :

**A : Système remplissage et réglage d'eau**

**B : Système d'allumage**

**C :Transformation d'énergie**

Cette méthode a été suivie par une 2ème méthode qui est l'APR, donnant comme résultats :

- La moyenne de criticité avant les mesures de sécurité de système remplissage et réglage d'eau donne le résultat de **8**, ce taux diminue après l'emplacement des mesures de sécurité et atteint la valeur de 3,13.
- La moyenne de criticité avant les mesures de sécurité du Système d'allumage donne le résultat de 7.1. Après l'emplacement des mesures de sécurité la valeur diminue pour atteindre la valeur de3.4.
- La moyenne de criticité avant les mesures de sécurité du système de transformation d'énergie donne le résultat de 5.3, ce résultat diminue après l'emplacement des mesures de sécurité et devient 2.

Nous pouvons remarquer à la fin de cette méthode que le système le plus critique est le système de remplissage et réglage d'eau avec une contribution de criticité de 39.22% et l'évènement redouté, qui la cause de la diminution d'eau dans la chaudière.

Nous continuons notre analyse par l'application de la méthode simplifiée de AdD au système deremplissage et réglage d'eau et par l'évènement redouté diminution d'eau dans la chaudière nous obtenons une probabilité de 5 événements possibles mais peu fréquent.

Nous terminons notre travail par une simulation d'un évènement d'une fuite de gaz au niveau du bruleur dans le foyer de la chaudière et nous obtenons donc les résultats suivants :

# Conclusion

---

Le rayon rouge est caractérisé par une distance de 29 m et une surpression de 200 mbar d'après les seuils d'effets de surpression référencés retenus dans la littérature, cette limite de surpression présente des dommages irréversibles et létaux aux personnes présentes dans le périmètre du premier cercle.

En plus, des effets sur l'homme, elle peut engendrer une destruction structurelle aux murs et aux installations avoisinantes situées à une distance inférieure ou égale à 45 m à partir de l'origine de l'explosion, ce phénomène devient plus catastrophique à cause de l'effet domino sur les autres installations surtout au niveau de la zone de stockage des médicaments et produit de fabrication.

## **Propositions et perspectives :**

A l'issue de cette étude, nous proposons les solutions suivantes, pour une meilleure maîtrise des risques :

- Placer un deuxième détecteur de niveau d'eau et un dixième arrêt automatique ;
- Placer un thermomètre, un baromètre et un détecteur de gaz au niveau de la pièce de la chaudière pour une bonne maîtrise des conditions ambiantes.
- Mettre en place des tableaux d'affichage, pour les consignes de sécurité, surtout au niveau de la chaudière.
- Etablir des check-lists des équipements pour des vérifications périodiques.
- Obligation de former le personnel sur les mesures de sécurité.
- Fournir les équipements de protection individuelle et surveiller leur utilisation.
- Rénovation du milieu extérieur de la chaudière.

# Références Bibliographique

---

## Références bibliographique

- [1]-[www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria](http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria)
- [2]- P BARPI - 5 Place Jules Ferry, 69006 Lyon / Mel : [barpi@developpement-durable.gouv.fr](mailto:barpi@developpement-durable.gouv.fr)
- [3]-Ministère chargé de l'environnement / DPPR / SEI / BARPI – IMPEL (PDF ARIA N° 14268/ Explosion et incendie dans une usine le 6 novembre 1998).
- [4]- [www.officiel-prevention/](http://www.officiel-prevention/) La prévention des risques professionnels dans les industries pharmaceutiques
- [5]-Document interne d'usine (présentation générale de l'usine).
- [6][www.quebecochimie.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=89:chaudieres-s-a-vapeur-un-peu-dhistoire&catid=36:nouvelles](http://www.quebecochimie.com/index.php?option=com_content&view=article&id=89:chaudieres-s-a-vapeur-un-peu-dhistoire&catid=36:nouvelles)
- [7]-[ww2.acpoitiers.fr/sc\\_phys/sites/sc\\_phys/IMG/pdf/chaudieres\\_a\\_vapeur\\_a\\_combustible](http://ww2.acpoitiers.fr/sc_phys/sites/sc_phys/IMG/pdf/chaudieres_a_vapeur_a_combustible).
- [8]-[www.babcock-wanson.fr/](http://www.babcock-wanson.fr/)
- [9]-[www.babcock-wanson.fr/telechargt\\_reglementations.aspx](http://www.babcock-wanson.fr/telechargt_reglementations.aspx)
- [10]-[www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=328](http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=328)
- [11]- Mémoire Maitrise du risque d'explosion au niveau des chaudières cas FERTIAL ALGERIE par Khalil hammad
- [12]- Mémoire Maîtrise des risques majeurs au niveau du "Centre Vrac GPL – CV 165" de NAFTAL à Sidi Arcine (Baraki) par DEROUAZ Djalal et MAMERI Meziane
- [13]-Bernuchon E. et Salvi O. Eléments Importants Pour la Sécurité(EIPS), in formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs(DRA-35).6, 2003.
- [14]-Durable, M.F.D.L.É.E.D.D, Évaluation des performances des barrières techniques de prévention et de protection pour réduire les risques majeurs Résumé, in INERIS-DRA, 2002.
- [15]- Oméga 7 : méthode d'analyse des risques généré par les installations industrielles. 2006. 119(INERIS).
- [16]- Mémoire approche analytique de la gestion global des risques au sein de General Electric.I.HAMITOCHE, N.A.- Ecole Nationale Polytechnique 2015. 141.
- [17]-ISO/CEI Guide 73. 2002.

## Références Bibliographique

---

[18]- ISO/CEI Guide 51. 1999

[19]- Mémoire analyse par la méthode Nœud papillon cas des chaudières à vapeur de l'Entreprise HAMOUD BOUALEM par ABAD Feriel / École Nationale Polytechnique

[20]-TP-SADT MR BEN MOKHTAR

[21]- SADT TP MR BEN MOKHTAR

[22]- Image de page Google

[23]-Mémoire PRESENTATION

[24]-mémoire Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-Sonatrach-Wilaya de SKIKD /biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/.../BERRAR-ABDERRAOUF.

[25]- MORTUREUX.Y, Technique de l'ingénieur, 10 octobre 2002, Sécurité et gestion des risques- méthode d'analyse des risques- Maîtriser les concepts et méthodes nécessaire à la sécurité et à la gestion des risque- Analyse Préliminaire des risques.

[26]- Analyse Préliminaire des Risques - UTC – Moodle [https://moodle.utc.fr/pluginfile.php/17132/mod\\_folder/content/0/6-APR](https://moodle.utc.fr/pluginfile.php/17132/mod_folder/content/0/6-APR).

[27]-www.techniques-ingenieur/Méthodes d'analyse des risques arbre de défaillance (Réf. Internet : 42155 | 3e édition).

[28]-Mémoire Étude des risques liés au stockage du pétrole dans le terminal pétrolier, Sonatrach-TRC Bejaïa. / Ecole Nationale Polytechnique par CHIBANE Mourad

[29]-DEBRAY.B, CHAUMETTE.S, DESCOURIERE.S, TROMMETER.V, INRIS-DRA-2006-P46055-CL47569, Ω7 : Méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle.

[30]-Analyse par arbre d'événements/gpp.oiq.qc.ca/analyse\_par\_arbre\_d\_evenements.htm.

[31]- Mémoire Analyse de risque et étude de performance des barrières de sécurité avec la mise en œuvre d'un système d'inertage programmable par le logiciel STEP7 Cas de la centrale de CAP-DJINET/BENMEDDAH.et Abderrahmane LARBES. Hassina- Ecole Nationale Polytechnique D'Alger

[32]-file:///C:/Users/Dj/Documents/APR%20-%20FINALE.

## Références Bibliographique

---

[33]- Journal officiel de la république Algérienne N°37, Dimanche 8 Joumada El Oula 1427  
Correspondant au 4 juin, Décret exécutif n° 06-198 définissant la réglementation applicable  
Aux établissements classés pour la protection de l'environnement, Edition original, p.8

[34]- Exemple Méthode : Simplifier /MR AMINE BEN MOKHTAR

[35]-[www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675](http://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675)

[36]-[inris.fr /fr/evaluation –des-version-60-et-61-de-PhAST](http://inris.fr/fr/evaluation-des-version-60-et-61-de-PhAST)

# Annexes

## Annexes 1 : APR de Système remplissage et réglage d'eau

ID	Système	Evénements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Remarques
1	Système remplissage et réglage d'eau A	Défaillance de pompe a étage A-1	Panne A-1-1	Arrêt de production	4	3	12	Surveillance 2ème pompe	2	Sirène Arrêt automatique	1	2	S'il n'a pas d'électricités il n'a pas des mesures
2			Vétusté A-1-2		3	3	9	Surveillance	1		1	1	
3			Négligence A-1-3		2	3	6		1		1	1	
4			Travaux à proximité A-1-4		1	3	3		1		1	1	
1			Excès d'eau A-2	Négligence A-2-1	Perte d'eau adoucie Augmentation de pression	1	3	3	Surveillance	1	Sirène Sifflet Trop plant Arrêt automatique	1	

# Annexes

			Arrêt de production								
2		Défaillance de la pompe A-2-2		1	3	3	Surveillance 2ème pompe	1		1	1
3		Défaillance de détecteur automatique de niveau d'eau A-2-3		1	3	3	Surveillance Détecteurs visuelle de niveau d'eau Mano de pression	1		1	1
4		Vanne manuelle défectueuse A-2-4		3	3	9	Surveillance	2		1	2

# Annexes

1	Diminution d'eau A-3	Fuit d'eau à cause de vétusté A-3 -1	Arrêt de production Augmentation de pression Augmentation de chaleur Explosion	4	4	16	Surveillance Détecteur de niveau d'eau visuelle	3	Sirène Arrêt automatique	3	9	La canalisation est très vicieuse
2		Vanne manuelle défectueuse A-3-2		4	4	16	Surveillance	3		3	9	
3		Défaillance de la pompe A-3-3		1	4	4	Surveillance 2ème pompe	1		3	3	
4		Défaillance de détecteur automatique de niveau d'eau A-3 -4		3	4	12	Nettoyage de détecteur automatique d'eau	2		3	6	

# Annexes

5		Pas d'eau dans le stockage A-3-5		2	4	8	Surveillance	1		3	3
1	Fuite d'eau A-4	Travaux à proximité A-4-1	Perte d'eau adoucie Diminution de pression Arrêt de production	4	3	12	surveillance	2	Sirène Arrêt automatique	2	4
2		Négligence A-4-2		1	3	3		1		2	2
3		Vétusté A-4-3		3	3	9		2		2	4

## Annexes

### Annexes 1 : APR de Système d'allumage

ID	Système	Evénements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Remarques
1	<b>Système d'allumage B</b>	Ratage d'allumage B-1	Défaillance de système B-1-1	Pas de flamme Petite accumulation de gaz Arrêt de chaudière	4	3	12	Surveillance	2	La sirène Détecteur de gaz Arrêt automatique Aération par volet d'air	2	4	S'il n'a pas d'électricités il n'a pas des mesures
2			Pas d'électricité B-1-2	Absence d'étincelle Pas de flamme Petite accumulation de gaz Arrêt de chaudière	1	3	3		1		2	2	

## Annexes

3		Défaillance de volet B-1-3	Pas d'air Pas d'gaz Pas de flamme Arrêt de chaudière	3	3	9	Surveillance Détecteur d'air	1	La sirène Décteur de gaz Arrêt automatique	2	2	
4		Blocage de la vanne de gaz B-1-4	Pas d'gaz Pas de flamme Arrêt de chaudière	1	3	3	Surveillance	1		2	2	
5		Lampe photocellule grillée B-1-5	Petite flamme Arrêt de chaudière	4	3	12	Surveillance	3	La sirène Arrêt automatique	2	6	Pas de stockage des lampes à rechange Nettoyage de lampe
1	Fuite de gaz B-2	Négligence B-2-1	Accumulation de gaz Incendie Explosion	2	4	8		2	Décteur de pression de gaz dans le bruleure La sirène Arrêt automatique	3	6	Pas des détecteurs de gaz extérieure

## Annexes

2		Vétusté B-2-2		1	4	4		1		3	3	S'il n'a pas d'électricités il n'a pas des mesures
3		Travaux à proximité B-2-3		3	4	12		2		3	6	
1	Perte de flamme B-3	Blocage de la vanne de gaz B-3-1	Pas de flamme Petite accumulation de gaz Explosion	3	4	12	Volley d'air Surveillance	2	Détecteur de pression de gaz La sirène Arrêt automatique	3	6	
2		Défaillance de volet d'air B-3-2	Pas d'air Grande accumulation de gaz Explosion	2	4	8	Surveillance	1		3	3	

## Annexes

### Annexes 1 : APR de Transformation d'énergie

ID	Système	Evénements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Remarques
1	Transformation d'énergie C	Pas / Petite quantité de vapeur C-1	Manque d'eau C-1-1	Augmentation de pression Augmentation de chaleur Explosion	1	4	4	Surveillance Décteur de niveau d'eau automatique et visuelle	1	La sirène Arrêt automatique	3	3	S'il n'a pas d'électricités il n'a pas des mesures
2			Réglage de flamme perturbé C-1-2	Consommation de gaz Petite quantité de vapeur	1	2	2	Surveillance Décteur de type de flamme	1		1	1	
1		Détérioration des tubes et cylindre C-2	Vétusté C-2-1	Fuite d'eau Fuit de vapeur Diminution de température Diminution de quantité de vapeur	2	2	4	Surveillance Contrôle périodique et règlementaire	1		1	1	

## Annexes

1		Effet de corrosion C-2-2			2	2	4		1		1	1
2		Opération de maintenance C-2-3			2	2	4		1		1	1
1	Gèle bloquée C-3	Négligence C-3-1	Diminution d'espace d'eau Augmentation de pression Augmentation de chaleur		2	3	6	Surveillance purge périodique	1		2	2
2		Blocage la vanne de vidange C-3-2			4	3	12		2		2	4
3		Détérioration de la vanne C-3-3				3	3	9		2		2

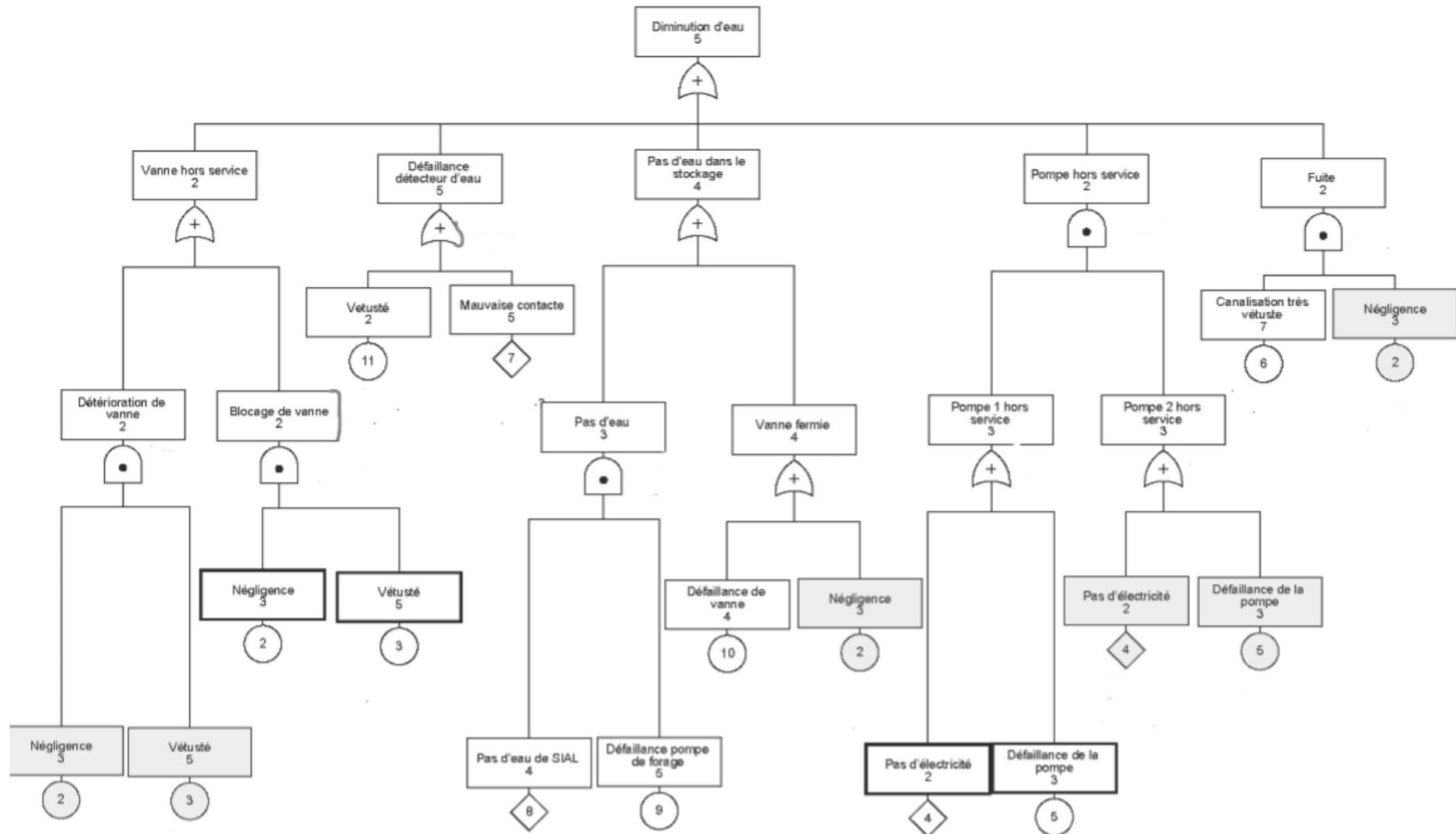
## Annexes

---

4	Mauvaise qualité d'eau C-3-4		1	3	3	Surveillance	1	Traitement d'eau spécifique	1	1
---	------------------------------------	--	---	---	---	--------------	---	-----------------------------------	---	---

# Annexes

## Annexes 2 : AdD



# Annexes

## Annexes 3 : AdE

