

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique



**Département : Maîtrise des Risques Industriels et
Environnementaux**

Filière : QHSE-GRI

Entreprise : Fruital Coca Cola

**Mémoire de projet de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en QHSE-GRI**

**Maîtrise des risques majeurs
au niveau de l'installation de refroidissement
- Cas Fruital Coca Cola-**

Yamina RACHID

Sous la direction de :

M. Amin BENMOKHTAR

Maître-assistant

Mme. Leila IGARMI

QHSE Manager

Présenté et soutenu publiquement le 02/07/2017

Composition du Jury :

Président	M. Aboubakr KERTOUS	MAA	ENP
Rapporteurs	M. Amin BENMOKHTAR	MAA	ENP
	Mme. Leila IGARMI	Manager QHSE	Fruital
Examineur	M. Abdelkader NAMANE	MCA	ENP

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique



**Département : Maîtrise des Risques Industriels et
Environnementaux**

Filière : QHSE-GRI

Entreprise : Coca Cola

**Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en QHSE-GRI**

**Maîtrise des risques majeurs
au niveau de l'installation de refroidissement
- Cas Fruital Coca Cola-**

Yamina RACHID

Sous la direction de :

M. Amin BENMOKHTAR

Maître-assistant

Mme. Leila IGARMI

QHSE Manager

Présenté et soutenu publiquement le 02/07/2017

Composition du Jury :

Président	M. Aboubakr KERTOUS	MAA	ENP
Rapporteurs	M. Amin BENMOKHTAR	MAA	ENP
	Mme. Leila IGARMI	Manager QHSE	Fruital
Examineur	M. Abdelkader NAMANE	MCA	ENP

Dédicaces

Je dédie le fruit de ce modeste travail à :

Mes chers parents, grâce à leurs grands sacrifices.

Mes chères sœurs Amel, Naima et Zahwa.

Mes chers frères Lakhdar et Sofiane.

Tous mes amis proches et mes collègues.

Mes promoteurs pour leur encadrement

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Yamina

Remerciements

Je voudrais remercier Dieu, le tout-puissant et le plus miséricordieux pour la patience, le pouvoir et la volonté qu'il m'a donnée et qu'il soit loué pour l'aide qu'il m'a attribué pour compléter mes études et me guider sur le bon chemin dans ma vie.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur M. BENMOKHTAR de l'École Nationale Polytechnique (ENP) pour son aide à la réalisation du travail demandé dans ce projet de fin d'étude. Mme LGARMI, ingénieur en Génie Environnemental et mon encadreur au sein de l'entreprise Fruitful Coca-Cola et Mme DEHMANI le chef de département QHSE pour le temps qu'elles m'ont consacré.

Je remercie également M. KERTOUS, pour l'honneur qu'il nous a fait de présider le jury et M. NAMANE d'avoir bien voulu examiner ce modeste travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de la réalisation de ce travail.

ملخص: الهدف العام في هذا العمل هو التحكم في المخاطر الرئيسية في نظام التبريد للشركة فرويتال كوكا كولا. يتناول الجزء الأول من هذا العمل التعرف على عملية تصنيع المشروبات، وخاصة التبريد، حيث تم تطبيق تحليل وظيفي من أجل تحديد النظام وتحديد وظائفها الأساسية. ثانياً، تم إجراء تحليل رئيسي للمخاطر باستخدام الطرق التي سمحت لنا بتحديد النظام الأكثر أهمية "زجاجة الضغط المنخفض"، فضلاً عن ظاهرة "بليف" الخطيرة وبالإضافة إلى ذلك، اعتبر من المهم استخدام برنامج فاست لتقدير شدة آثاره. الجزء الأخير؛ يحدد أهم خطوة في عملية إدارة المخاطر. وهي تعتمد على قياس السلامة التقنية المقترحة "تمزق القرص" من أجل الحد من خطر كبير

كلمات البحث: تحليل المخاطر التكنولوجية، SADT, AMDEC, HAZOP, APR, AdD, AdE, BLEVE, انفجار، خطورة، احتمال.

Abstract: The objective of this work is the mastery of the major risks in the cooling system of the company Fruital Coca Cola. The first part deals with the familiarization with the manufacturing of drinks' process, especially cooling, in which a functional analysis "SADT" was applied in order to define the system and determine its main functions. Secondly, a major risk analysis was carried out using methods that allowed us to determine the most critical system "Bottle BP" as well as the dangerous "BLEVE" phenomenon. Besides, it was considered important to use the PHAST software to estimate the severity of its effects. The last part defines the most essential step in the risk management process. It relies on the proposed safety measure "rupture disc" in order to reduce the major risk.

Key Words: Analysis of major technological risks, SADT, AMDEC, HAZOP, APR, AdD, AdE, BLEVE, explosion, mastery, gravity, probability, PHAST.

Résumé : L'objectif de ce travail est la maîtrise des risques majeurs au sein de l'installation de refroidissement de l'entreprise Fruital Coca Cola. La première partie porte sur la familiarisation avec le procédé de fabrication des boissons plus particulièrement le refroidissement, dans ce dernier on a arrivé à appliquer une analyse fonctionnelle « SADT » dans le but de décomposer le système et déterminer ses fonctions. En second lieu, On a déployé une analyse des risques majeurs en faisant appel à des méthodes qui nous ont laissé déterminer le système le plus critique « Bouteille BP » ainsi que le phénomène dangereux « BLEVE ». En plus, il a été jugé important d'utiliser le logiciel PHAST pour l'estimation de la gravité de ses effets. La dernière partie , définit l'étape la plus essentielle de la démarche elle se repose sur la mesure de sécurité proposée « disque de rupture » afin de réduire le risque majeur.

Mots-clefs : Analyse des risques majeurs technologiques, SADT, AMDEC, HAZOP, APR, AdD, AdE, BLEVE, explosion, maîtrise, gravité, probabilité, PHAST.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....	11
Chapitre 1. Contexte général, problématique et méthodologie	14
1.1. Agro-Alimentaire et boissons non-alcoolisés	14
1.1.1. L'agro-alimentaire en Algérie	14
1.1.2. COCA COLA dans le monde.....	14
1.2. Présentation de l'unité et objet de l'étude	15
1.2.1. Usine de Rouiba	15
1.2.2. Produits.....	16
1.2.3. Localisation de l'entreprise	16
1.3. Procédé de production de la boisson	17
1.3.1. Matières premières	17
1.3.2. Préparation de la boisson.....	18
1.3.3. Conditionnement	19
1.4. Généralités sur l'ammoniac.....	19
1.4.1. Composition de l'ammoniac	19
1.4.2. Propriétés physiques.....	20
1.4.3. Propriétés chimiques	20
1.4.4. Utilisation	21
1.4.5. Risques liés à l'ammoniac.....	21
1.5. Problématique.....	24
1.6. Objectifs de l'étude	24
1.7. Méthodologie	25
Chapitre 2. Analyse des risques industriels.....	28
2.1. Évolution de la maîtrise des risques	28

2.2. Risques industriels.....	29
2.2.1. Risques professionnels	31
2.2.2. Risques majeurs (RM).....	31
2.3. Analyse des risques technologiques majeurs	32
2.3.1. But et finalité.....	32
2.3.2. Objectifs	33
2.3.3. Domaine d'application	33
2.4. Présentation des méthodes d'analyse des risques	35
2.4.1. Analyse préliminaire des risques (APR)	35
2.4.2. Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur criticité(AMDEC) 41	
2.4.3. Hazard and Operability study (HAZOP).....	44
2.4.4. Arbre des défaillances (AdD).....	47
2.4.5. Arbre des événements(AdE)	51
Chapitre 3. Application des méthodes d'analyse	55
3.1. Analyse Préliminaire des risques (APR).....	55
3.1.1. Identification des systèmes.....	55
3.1.2. Application de la méthode SADT	55
3.1.3. Critères d'évaluation	59
3.1.4. Interprétation des résultats	60
3.2. AMDEC	63
3.2.1. Décomposition fonctionnelle :	63
3.3. HAZOP.....	67
3.4. Arbre de défaillance (AdD).....	68
3.5. Arbre des Événements.....	71
Chapitre 4. Simulation du phénomène dangereux BLEVE FROID.....	74
4.1. Description du BLEVE	74
4.2. Les causes d'un BLEVE	74
4.3. Effets d'un BLEVE sur l'environnement.....	75

4.4. Différents Types De BLEVE	75
4.4.1. BLEVE « Froid » :	75
4.4.2. BLEVE « Chaud ».....	76
4.5. Simulation des effets d'un BLEVE :	78
Chapitre 5. Réduction du risque et recommandations.....	83
5.1. Disque de rupture	83
5.2. Composition	83
5.3. Principe de fonctionnement.....	84
5.4. Critères de choix d'un disque de rupture	84
5.5. Disque de rupture proposé.....	84
5.6. Applications	85
5.7. Construction conforme à la directive 97/23/CE.....	85
5.8. Matériel	85
Conclusion générale	88
Références bibliographiques	90
Annexe 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement	93
Annexe 2. Analyse Préliminaire des Risques.....	99
Annexe 6. Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.....	104
Annexe 4. HAZOP	107

Liste des tableaux

Tableau 1.1. caractéristiques de l'ammoniac	20
Tableau 1.2. Seuils d'effets létaux (toxicité aigüe, ammoniac)	22
Tableau 1.3. Seuils d'effets irréversibles (toxicité aigüe, ammoniac)	22
Tableau 1.4. Seuils d'effets réversibles (toxicité aigüe, ammoniac)	22
Tableau 2.1. Tableau type du déploiement de l'APR	41
Tableau 2.2. Principe de l'AMDEC (INERIS)	42
Tableau 2.3. Modes de défaillances généraux (CEI 60812, 2006)	42
Tableau 2.4. Modes de défaillance génériques (CEI 60812, 2006)	43
Tableau 2.5. Exemple tableau AMDEC	44
Tableau 2.6. Modèle du tableau HAZOP	46
Tableau 2.7. Différence opérations	50
Tableau 3.1. Découpage du système de refroidissement	57
Tableau 3.2. Positionnement des sous-systèmes	60
Tableau 3.3. Nombre d'ER selon le type de risque	61
Tableau 3.4. Positionnement des sous-systèmes selon la criticité	62
Tableau 3.5. ER distribués selon le type de risque.....	62
Tableau 3.6. Composants du sous-système Bouteille BP	63
Tableau 3.7. Estimation de la probabilité.....	64
Tableau 3.8. Echelle quantitative de gravité	65
Tableau 3.9. Echelle quantitative de détectabilité.....	65
Tableau 3.10. Matrice de criticité.....	65
Tableau 3.11. Evaluation globale	66
Tableau 3.12. ER selon le type de risque	66
Tableau 3.13. probabilités des événements de l'AdD.....	70
Tableau 4.1. Suppression en fonction de la distance	79

Liste des figures

Figure 1.1. Localisation de Coca Cola (Google Maps).....	16
Figure 1.2. Molécule d'ammoniac (logiciel Edraw, version d'essai).....	19
Figure 1.3. Processus généralisé de maîtrise des risques technologiques majeurs	26
Figure 2.1. Processus de la gestion des risques (Bernuchon & Salvi, 2003)	34
Figure 2.2. Démarche d'analyse des risques.....	35
Figure 2.3. Principes de la méthode APR	37
Figure 2.4. Représentation d'une fonction.....	39
Figure 2.5. Démarche pour l'élaboration d'un arbre de défaillances (INERIS)	49
Figure 2.6. Schéma d'un AdE.....	52
Figure 3.1. Diagramme A-0 (Contexte général)	56
Figure 3.2. Diagramme A-0	57
Figure 3.3. Répartition des ER selon le type de risque	61
Figure 3.4. Répartition des niveaux de risque selon le type.....	62
Figure 3.5. Répartition des niveaux de risque selon leur type.....	66
Figure 3.6. AdD pour IER Surpression	68
Figure 3.7. Réduction de l'AdD de l'ER surpression.....	70
Figure 3.8. AdE de Surpression	72
Figure 4.1. Réservoir rempli d'un gaz liquéfié avec un ciel gazeux sous pression	75
Figure 4.2. Deux ondes de pression, par détente du ciel gazeux puis par ébullition violente..	76
Figure 4.3. Mécanisme de surchauffe et de rupture du réservoir	77
Figure 4.4. Rupture du réservoir et ondes de surpression	77
Figure 4.5. Zones d'effets de surpression	80
Figure 4.6. Variation de la surpression en fonction de la distance (PHAST)	81
Figure 4.7. Présentation des rayons de surpressions critiques sur la carte géographique	81
Figure 5.1. Disque de rupture entre brides	84
Figure 5.2. Disque inversé-type U	85
Figure 5.3. Installation d'un disque de rupture	85
Figure 5.4. Montage avec détecteur de rupture entre brides (avec monture).....	86

Liste des abréviations

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effet et de leur Criticité
AdD	Arbre des Défaillances
AdE	Arbre des Évènements
APR	Analyse préliminaire des risques
AR	Analyse des Risques
ARM	Analyse des Risques Majeur
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
BARPI	Bureau d'Analyses des Risques et Pollution Industriels
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
BP	Basse Pression
C	Criticité
CO₂	Dioxyde de carbone
D	Détection
ECCBC	Equatorial Coca Cola Bottling Company
EI	Évènement Initiateur
ENACTA	Établissement National de Contrôle Technique Automobile
ENP	École Nationale Polytechnique
ENS	Évènement Non Souhaité
ER	Évènement redouté
F	Fréquence
FM Global	Factory Mutual Global
G	Gravité
HP	Haute Pression
IAA	Industrie Agro-Alimentaire
ICMESA	Chemical Industries Chemical Company
ILO	International Labour Organization
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des risques
ISO	International Standardization Organization
HAZOP	Hazard Operability
NH₃	Ammoniac
PET	Polyéthylène Téréphtalate
QHSE	Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement
RM	Risque Majeur
RTM	Risque Industriel Majeur
RN	Rue Numéro
R717	Ammoniac
SADT	Structured analysis and Design
SR	Système de Refroidissement
VLEP	Valeur Limite d'Exposition

Introduction générale

L'homme peut être confronté à des événements d'apparition brutale et soudaine, légère ou grave on les appelle accidents. Parmi ces accidents, ceux qui sont plus importants par le nombre de victimes et les dégâts engendrés, ces derniers sont appelés majeurs.

En 2009, des statistiques ont montré que les industries agroalimentaires rassemblent 6% d'accidents qu'ils sont classés deuxièmes. Selon FM Global (Leader mondial de l'assurance dommage aux biens) les incendies représentent 40% de leurs sinistralités.

Ils ont trouvé aussi que dans l'industrie agroalimentaire, les installations de réfrigération sont les premières concernées par les accidents et selon une requête sur la base de données ARIA qui contient plus de 40 000 accidents ont été déclarés sur la période (1900 – 2013), recense 666 cas au 09/07/2013.

De plus, la Bretagne et son importante activité agroalimentaire représente 18 % des accidents en réfrigération (4 % pour les autres installations).

Coca-Cola, l'entreprise dans laquelle ce travail est effectué, met en avant tous les moyens pour garder une bonne image de marque. Une partie de ces moyens va à l'investissement dans la réduction du risque (ces moyens ne sont pas spécialement déployés pour l'image de marque, le risque peut avoir des conséquences néfastes entraînant la mort de personnes, des dommages aux équipements et à l'environnement mais aussi des problèmes d'ordre juridique, technique et social). Le système de refroidissement étant très sensible et comportant des risques critiques il intéressera notre étude. Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges.

Les systèmes de réfrigération à l'ammoniac comportent des risques potentiels pour les travailleurs en usine et les consommateurs. Les produits sont facilement contaminés par les fuites d'ammoniac et la simple exposition peut causer des pertes coûteuses et la nécessité de nouveaux achats. Le retraitement implique ainsi une hausse des coûts.

C'est la raison pour laquelle nous allons faire une évaluation de risque dans cette entreprise. Pour cela, nous allons déployer différentes méthodes s'impliquant dans la gestion de risque

(APR, AMDEC, HAZOP, ADD, ADE). Nous allons ensuite simuler les phénomènes dangereux retrouvés grâce à ces méthodes pour ensuite passer à la réduction du risque.

**Chapitre 1. Contexte
général, problématique et
méthodologie**

Chapitre 1. Contexte général, problématique et méthodologie

En raison des effets graves qui peuvent être provoqués par l'ammoniac, nous nous intéressons au système de refroidissement de Fruits Coca-Cola.

Ce chapitre traitera tout d'abord sur la fabrication des boissons et du procédé de fabrication au niveau de l'usine Fruits Coca-Cola. Ensuite, il mettra en revue quelques accidents survenus dans le secteur agroalimentaire à travers le monde et en Algérie. Enfin il traitera de la formulation de la problématique et de la méthodologie suivie entre autres pour la conduite du projet dans le but d'apporter des éléments de réponse à celle-ci.

1.1. Agro-Alimentaire et boissons non-alcoolisés

1.1.1. L'agro-alimentaire en Algérie

L'industrie agro-alimentaire (IAA) regroupe des activités industrielles visées à la transformation des produits agricoles ou de la pêche en produits alimentaires finis pour la consommation humaine. Elle recouvre plusieurs familles d'activités comme industrie de la viande, sucre, huile et corps gras, margarines et fabrication de boissons...etc.

En Algérie, IAA est classée la deuxième après les hydrocarbures, elle est dominée par le secteur privé par un pourcentage considérable 95%. Les produits agroalimentaires voient une forte demande avec une consommation représente 45% des dépenses des ménages algériens (consommation de biscuits (2.5 kg / an / hab) et de boissons non-alcoolisées (47L / an / hab)) (D.Akila, 2014).

1.1.2. COCA COLA dans le monde

Certains produits sont spécialement associés à l'image d'un pays. Le fromage de la France, la pizza d'Italie, Coca-Cola des États-Unis.

En 8 mai 1886, le pharmacien John Styth Pemberton d'Atlanta en Géorgie voulait trouver un sirop original et désaltérant mais il finira par inventer une nouvelle boisson gazeuse, il a développé un mélange avec des extraits de noix de cola, de caféine, de feuilles de coca, de sucre et d'autres extraits végétaux. La ville abrite aujourd'hui le siège de The Coca Cola (En nminej, Avr 2015).

Au fil du temps, les produits finissent par être adoptés ailleurs. Chaque année, les américains deviennent ainsi de grands consommateurs de pizzas que les Italiens. En 1919, Coca-Cola a mis en place sa première usine en France, la consommation est près de 21 litres de boisson par an par habitant, et c'est la Coca-Cola française, car plus de 90% des matières premières exploitées proviennent de fournisseurs locaux et des sites de production se répartissent sur l'ensemble du territoire français.

Le développement et le succès de la marque étaient derrière un système unique et original. Même si la base de Coca-Cola Company est aux États-Unis, ses filiales à travers le monde produisent des concentrés de boissons, développent des marques, imaginent des innovations. C'est grâce à cette organisation que The Coca-Cola Company est devenue au même temps mondiale et locale. Coca-Cola Company se présente dans près de deux cents pays et détient quatre des cinq marques de boissons les plus vendues au monde : Coca cola classique (apparu en 1986), Coca cola diet (light en France), Sprite (apparu en 1961) et enfin Fanta (apparu en 1955).

1.2. Présentation de l'unité et objet de l'étude

La boisson est l'un des éléments les plus importants qui exige que la personne prenne des quantités suffisantes de fluides pour mener à bien les processus vitaux dans le corps. La production de la boisson a connu un développement remarquable au cours des dernières décennies tant en termes de quantité ou des techniques utilisées.

1.2.1. Usine de Rouiba

FRUITAL SPA a vu le jour en 1993. Elle disposait alors d'une usine (FRUITAL 1) à Khemis el Khechna spécialisée dans la production de cannettes et de bouteilles PET ;

Dotée alors d'une capacité de production prodigieuse et de moyens à la pointe de technologie, ceci lui a valu d'être placée au rang de l'unité de fabrication la plus importante d'Afrique du nord.

C'est alors que géant du secteur de l'agroalimentaire, the Coca Cola Company, fabricant de la boisson gazeuses, lui octroie une licence pour la production et la commercialisation de sa gamme de produit en Algérie

Avec ce succès grandissant une deuxième usine démarre son activité en juin 1997, FRUITAL 2 qui est aujourd'hui l'usine que tout le monde connaît FRUITAL Coca Cola.

Le 15 mars 2006, le groupe espagnol ECCBC entre dans l'actionnariat de la société FRUITAL Coca Cola, l'objectif principal étant de développer l'activité de FRUITAL.

1.2.2. Produits

Elle est aujourd'hui l'une des usines les plus importantes de la région. Fruitall investit exclusivement dans l'exploitation et la production des boissons gazeuses non alcoolisées avec un large panel de mise en bouteilles sous différents aspects comme suit :

- Bouteilles en PET : 50cl, 100cl, 1.5l et 2l
- Verre : 25 cl, 30cl et 1l
- Cannelles : 25 CL ,33cl

L'unité de production Fruitall veille soigneusement à respecter les normes de qualité pour l'exploitation de la licence en matière de fabrication de ces produits.

1.2.3. Localisation de l'entreprise

L'entreprise FRUITAL est localisée à la zone industrielle de Rouïba, RN n°5 16013 Rouïba, Alger, Algérie.



Figure 1.1. Localisation de Coca Cola (Google Maps)

Elle est délimitée par :

- Nord : Route nationale 5.
- Ouest : Établissement ENACTA et plusieurs habitations.
- Sud : Voie ferroviaire.
- Est : Entreprise ABC (TANGO).

1.3. Procédé de production de la boisson

Dans cette partie nous allons décrire le procédé de fabrication des boissons gazeuses.

1.3.1. Matières premières

a) Eau

C'est le constituant majeur de la boisson (92%). L'eau est essentielle pour l'organisme, elle intervient comme un agent de dilution d'un concentré. Son utilisation implique une surveillance rigoureuse tant sur le plan organoleptique, physico-chimique et bactériologique.

L'eau utilisée au sein de l'unité FRUITAL Coca Cola est issu essentiellement du forage donc c'est pour cela on lui fait passé par plusieurs étapes de traitement.

L'entreprise Coca cola exige des normes à respecter pour l'eau de fabrication de boisson gazeuse.

b) Sucre

Il contient deux composés

- **Saccharose** : C'est un disaccharide non réducteur constitué d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose. Il est d'origine végétale produit par les plantes saccharifères dont la betterave et la canne (GRABKOWSKI, 2006).
- **Dextrose** : Aussi comme tant que glucose est un mono saccharide ou sucre simple qui est de 20% moins sucré que le saccharose, il est fabriqué à base de maïs, dont le nom chimique est D-GLUCOSE, disponible sous plusieurs formes, à savoir, sucre du dextrose brut, sucre du dextrose pressé, hydrate du dextrose ou anhydre. Aux Etats-

Unis toutes les boissons gazeuses sont fabriquées à partir du dextrose (MORRIS, 1959).

c) Dioxyde de carbone

Le gaz carbonique (CO₂) joue un rôle important dans la conservation et la désaltération par inhibition du développement des microorganismes. Le gaz carbonique est un gaz incolore, sans odeur et il a une saveur aigrelette.

d) Concentré

C'est un mélange complexe d'arômes, d'acidifiants et de colorants fabriqués par coca cola compagnie. Ces éléments sont conditionnés en emballage individuelle ou multiple et forment un nombre précis d'unités qui seront ajoutées au sirop simple pour donner le sirop fini.

1.3.2. Préparation de la boisson

Cette phase est divisée en trois étapes.

- La dissolution

Dans un dissolvant, le sucre est incorporé et il est mélangé à l'eau grâce à un agitateur. En parallèle, le mélange est chauffé et pasteurisé par un système de chauffage à l'eau à environ 50°C et durant 15min. Le sirop ainsi obtenu est dit « le sirop simple », il passe par un filtre à pré couche pour retenir tous les débris solides qui peuvent se présenter. Ensuite, il sera refroidi (environ 20°C) pour qu'il soit prêt à l'opération suivante.

- Incorporation des concentrés

Le sirop simple est envoyé vers les cuves de préparation du sirop fini, constitué du sirop simple additionné des éléments suivants : une partie contenant la formule secrète de l'arôme de Coca Cola y compris le conservateur, l'autre partie renferme l'acidifiant (acide phosphorique, citrate de sodium) et le colorant (caramel). Cette préparation sera malaxée durant 30 min à température ambiante. Après un repos d'une 30 min, le sirop fini peut être envoyé à la ligne de production de la boisson.

- Préparation du prémix

Une fois le sirop fini arrive à la ligne de production, il sera mélangé à l'eau préalablement désaérée sous pression, et carbonatée à basse température (8°C) pour avoir une meilleure saturation, et grâce à deux pompes doseuses, le rapport sirop/eau carbonatée sera réalisé à une proportion de 1 pour le sirop et de 5.4 pour l'eau carbonatée pour élaborer la boisson gazeuse, qui sera ensuite conditionnée dans les bouteilles PET.

Remarque : Pour la gazéification (dissolution CO₂), l'opération se fait au froid grâce à une eau qui est refroidit dans un important système réfrigérant fonctionnant à l'Ammoniac ou notre étude sera effectué.

1.3.3. Conditionnement

Particulièrement le conditionnement en bouteilles PET (polyéthylène téréphtalate) soufflée au sein de l'usine fait appel à des machines très sophistiquées qui permettent une cadence élevée de production.

1.4. Généralités sur l'ammoniac

1.4.1. Composition de l'ammoniac

Le nitrure d'hydrogène est un composé chimique, composé de 3 atomes d'hydrogène et d'un atome d'azote, sa formule chimique est NH₃, on l'appelle plus communément ammoniac, il est largement utilisé dans l'industrie. Il existe d'une façon naturelle dans le corps humain et aussi dans l'environnement.

Selon la norme T78-001, le code pour l'ammoniac est R717.

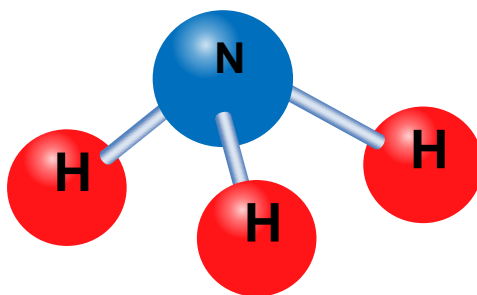


Figure 1.2. Molécule d'ammoniac (logiciel Edraw, version d'essai)

1.4.2. Propriétés physiques

L'ammoniac est un gaz incolore et irritant dans l'air ambiant, ayant une odeur piquante et suffocante, ses caractéristiques physiques principales sont indiquées dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. caractéristiques de l'ammoniac

Masse molaire	17,03 g.mol ⁻¹
Point de fusion	- 77,7 °C
Point d'ébullition	- 33,3 °C
Densité (ammoniac liquide)	0,682 à - 33,3 °C
Température critique	132 °C
Densité de vapeur (air = 1)	0,59
Tension de vapeur	860 kPa à 20 °C
Limites d'explosivité dans l'air (% en volume)	
limite inférieure	15%
limite supérieure	28%
Limites d'explosivité dans l'oxygène (% en volume)	
limite inférieure	15,5%
limite supérieure	79%
Température d'auto inflammation	651 °C

L'ammoniac est très soluble dans l'eau (entre 27 et 30 % d'ammoniac en poids à 20°C). On dissout le gaz ammoniac dans de l'eau pour former de l'hydroxyde d'ammonium, plus connu sous le nom d'ammoniaque cette dissolution s'accompagne d'un dégagement de chaleur.

1.4.3. Propriétés chimiques

- À température ordinaire, l'ammoniac est un composé stable. Sa dissociation ne commence que vers 450-550°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, le zinc, sa décomposition commence dès 300 °C. Toutefois, en présence d'humidité, l'ammoniac, gazeux ou liquide, attaque rapidement le cuivre, le zinc et de nombreux alliages, particulièrement ceux qui contiennent du cuivre. Il agit également sur l'or, l'argent et le mercure en donnant des composés explosifs.
- L'Ammoniac brûle à l'air en donnant principalement de l'azote et de l'eau.

- L'Ammoniac réagit, généralement violemment, sur de nombreux oxydes et peroxydes.
- Les halogènes (fluor, chlore, brome, iode) réagissent vivement sur l'Ammoniac et ses solutions aqueuses.
- Des réactions explosives peuvent également avoir lieu en réaction avec l'aldéhyde acétique, l'acide hypochloreux ou l'hexacyanoferrate (3-) de potassium.
- Certaines catégories de plastiques, de caoutchoucs et de revêtements peuvent être attaquées par l'Ammoniac liquide.

1.4.4. Utilisation

Les utilisations de l'ammoniac sont multiples :

- Fabrication d'engrais.
- Carburants et pétrole.
- Fabrication de polymères.
- Synthèse d'explosifs.
- Traitement des métaux.
- Industrie du papier, des fibres textiles.
- Industrie du froid où l'ammoniac joue un rôle très important comme réfrigérant.

1.4.5. Risques liés à l'ammoniac

1.4.5.1. Toxicité de l'ammoniac

L'ammoniac gazeux a une très grande solubilité dans l'eau et donne une solution à haute alcalinité qui en fait un agent très agressif des poumons et des muqueuses.

L'exposition à des vapeurs ammoniacales provoque, immédiatement :

- Brûlures et atteintes cutanées : sous forme de dermatites de contact.
- Atteintes oculaires : elles sont provoquées par l'exposition aux vapeurs, mais aussi par les projections de liquide. Elles se manifestent par du larmolement, des atteintes à la cornée plus ou moins profondes, hyperhémie conjonctivale, ulcérations conjonctivales, cataracte, iritis.
- Atteintes respiratoires : elles s'agissent à une irritation des voies respiratoires supérieures avec dyspnée, éternuement et toux.

- Atteintes digestives : Des phénomènes douloureux très intenses avec intolérance gastrique.

Selon un rapport élaboré par un groupe de consensus (Document INRS) les seuils dans le cas d'une toxicité aiguë sont définis comme suit :

a) Seuils d'effets létaux (ammoniac)

Tableau 1.2. Seuils d'effets létaux (toxicité aiguë, ammoniac)

Temps (min)	Concentration	
	Mg/m ³	ppm
1	17710	25300
3	10290	14700
10	5740	8200
20	4083	5833
30	3337	4767
60	2380	3400

b) Seuils d'effets irréversibles (ammoniac)

Tableau 1.3. Seuils d'effets irréversibles (toxicité aiguë, ammoniac)

Temps(min)	Concentration	
	Mg/m ³	ppm
1	1050	1500
3	700	1000
10	606	866
20	438	612
30	350	500
60	248	358

c) Seuils d'effets réversibles(ammoniac)

Tableau 1.4. Seuils d'effets réversibles (toxicité aiguë, ammoniac)

Temps(min)	Concentration	
	Mg/m ³	ppm
1	196	280

3	140	200
10	105	150
20	84	120
30	77	110
60	56	80

d) Seuil de perception

Seuil olfactif est de 5-50 ppm.

Remarque : Les facteurs de conversion sont les suivants :

- 1 mg/m³ = 1,44 ppm
- 1 ppm = 0,7 mg/m³

1.4.5.2. Valeurs limites d'exposition de l'ammoniac (INRS)

À titre d'information, voici quelques VLEP indicatives :

Union européenne

- 20 ppm ou 14 mg/m³ (8 h) ;
- 50 ppm ou 36 mg/m³ (court terme)

États-Unis (ACGIH)

- 25 ppm (TLV-TWA) ;
- 35 ppm (TLV-STEL)

Allemagne (MAK) : 10 ppm ou 14 mg/m³

- **Risque d'incendie**

Le risque d'incendie provoqué est relativement faible, lorsqu'il est mis en contact avec des matériaux ou une surface ayant une température de 651°C avant de s'enflammer de lui-même. Cependant, la présence d'huile ou d'autres matières combustibles peut accroître le risque d'incendie en abaissant cette température d'auto-ignition. L'ammoniac peut s'enflammer au contact des oxydants forts.

- **Risque d'explosion**

L'ammoniac nécessite un pourcentage d'au moins 15% dans l'air et une source d'ignition pour exploser. L'ammoniac peut exploser au contact d'oxydants forts.

1.5. Problématique

L'industrie agroalimentaire occupe une place importante en Algérie et contribue de manière significative au secteur industriel.

Coca-Cola Company est une entreprise qui produit des boissons, elle se présente dans deux cent des pays dans le monde, elle est arrivée à implanter une usine en Algérie, mais elle est toujours face aux obstacles qui peuvent toucher son image de marque et sa réputation. La survenance dans l'une de ses filières d'un accident majeur contribue à donner une image négative de l'entreprise, il est donc important de mettre en place des mesures de sécurité qui réduisent la probabilité et la gravité de cet accident.

Les parties les plus sensibles identifiées au niveau de l'installation se trouvent au niveau du système de refroidissement utilisant de l'ammoniac, elles sont les plus concernées par les accidents majeurs tels que les explosions, les incendies ou les fuites polluantes.

La question que nous nous posons et à laquelle nous nous proposons de répondre à travers notre travail est la suivante :

Par quelle approche pouvons-nous ressortir avec des mesures efficaces de réduction des risques inhérents à cette partie de l'usine ciblée et quels sont les moyens de protection à mettre en place pour éviter qu'un accident de grande envergure ne se produise au niveau de Rouiba Coca-Cola ?

1.6. Objectifs de l'étude

Les objectifs que nous aurons fixés dans le cadre de ce travail constituent un outil organisationnel indispensable au cadrage du projet. Ils ont été établis et fixés de façon à constituer les étapes à franchir. Ces objectifs une fois atteints de manière chronologique comme leur ordre l'impose, servent à atteindre un objectif général : la maîtrise des risques de l'installation objet de notre étude.

- **Objectif 1** : Familiarisation avec le procédé de fabrication des boissons, plus particulièrement le refroidissement.
- **Objectif 2** : Inventaire des moyens matériels et administratifs en place pour la prévention et la protection contre les accidents majeurs dans la partie ciblée de l'installation.
- **Objectif 3** : Déploiement de l'analyse des risques majeurs en faisant appel à des outils pertinents.
- **Objectif 4** : Proposition de mesures protectives matérielles et administratives pour la maîtrise et la gestion des risques qui ressortent de l'analyse des risques préalablement conduite.

1.7. Méthodologie

Pour atteindre l'objectif général en passant par les objectifs intermédiaires prédéfinis pour la conduite du projet, et également apporter des éléments de réponse à notre problématique, le processus qui a été suivi repose sur deux grands axes : l'exploration et la méthodologie. La figure 1.3 résume la démarche générale suivie. Elle comporte deux niveaux :

- **Niveau 1** : représente la mise en contexte et l'émission d'un constat de départ.
- **Niveau 2** : comporte la mise en œuvre de l'analyse des risques en fonction des résultats obtenus dans le premier niveau.

Le processus donné la figure1.3 comporte des éléments qui interagissent dans le sens transversal soulignant les explorations conduites, tandis que l'évolution dans le sens vertical met en avant les méthodes et les outils auxquels nous faisons appel.

Le processus suivi dans notre cas a été le suivant :

1^{er} niveau : Au niveau de l'usine de Fruital Coca-Cola ou la production de la boisson nécessite généralement de l'eau pure et la présence d'une installation de réfrigération qui présente des risques notamment liés aux produits chimiques (le produit chimique utilisé est l'ammoniac qui est extrêmement dangereux) tel que les explosions, les incendies ou les fuites polluantes. Ces derniers ont de graves conséquences d'un point de vue humain, matériel ou financier et afin de les éviter il est nécessaire de mettre en place une démarche de gestion des risques.

2^{ème} niveau : Une fois les risques majeurs sélectionnés, la démarche entreprise pour la conduite de l'analyse repose sur l'utilisation de deux méthodes, l'Analyse préliminaire des risques (APR) concernant le système identifié (système de refroidissement) qui a conduit à l'identification d'un système (Bouteille BP). Ce dernier a fait l'objet de HAZOP. Les éléments et les résultats retenus du déploiement des méthodes d'analyses ont souligné des carences au niveau des moyens de protection mis en œuvre. Ces manquements feront l'objet de mise en place d'une solution adaptée.

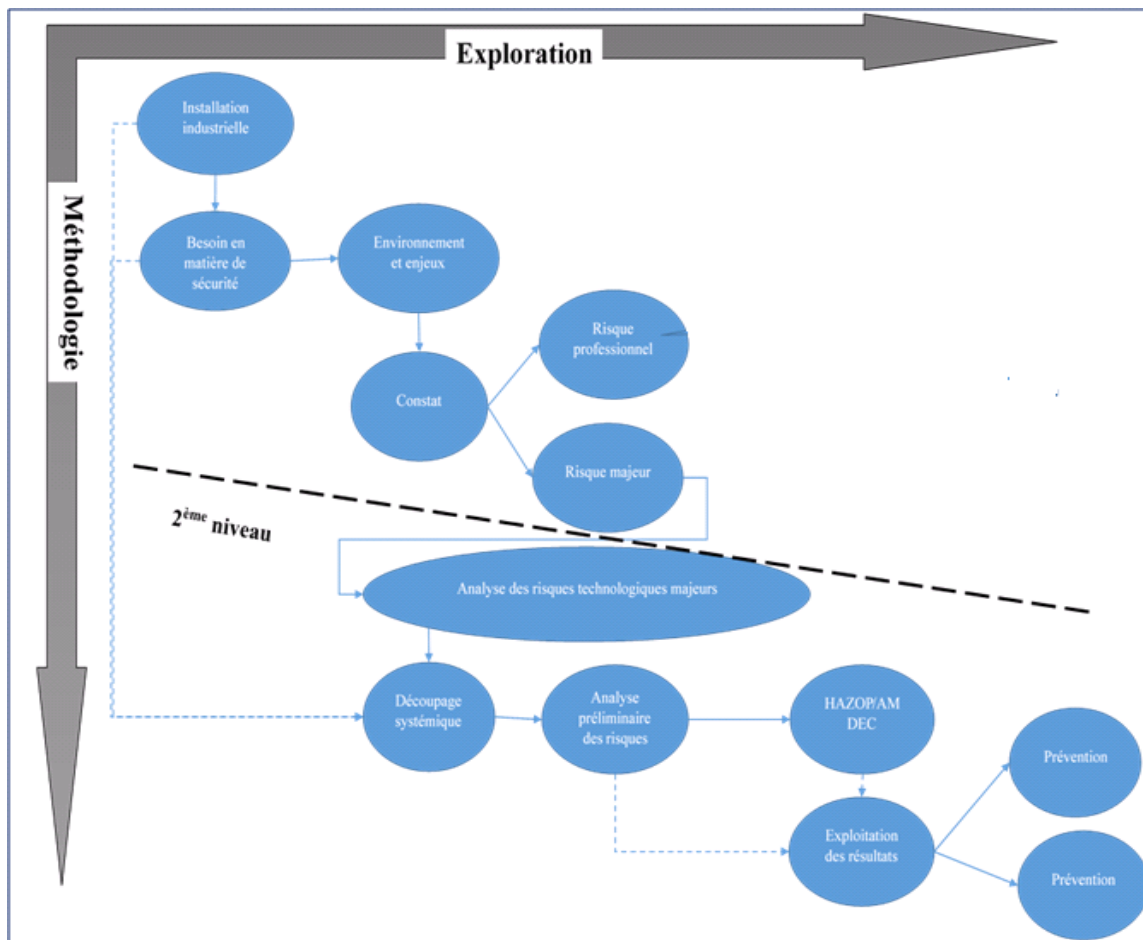


Figure 1.3. Processus généralisé de maîtrise des risques technologiques majeurs

Dans les chapitres suivants, nous allons aborder en détail les étapes résumées dans le processus précédent.

Chapitre 2. Méthodes d'analyse des risques

Chapitre 2. Analyse des risques industriels

Les risques industriels sont nés avec la naissance de l'industrie, mais ils n'ont été au centre des préoccupations qu'après l'avènement de malheureux événements (catastrophes industrielles) conduisant à des pertes inestimables. Ceci a motivé le milieu industriel à adopter des mesures dans le but de maîtriser ces risques qui ont le potentiel de causer de nombreuses pertes (humaines, matérielles et environnementales). Ces conséquences à leur tour portent atteinte à l'image de marque de l'entreprise.

Dans ce chapitre, il sera mis en avant une synthèse de l'évolution de la maîtrise des risques dans le temps et de la culture qui s'est enrichie autour de la sécurité. Il sera aussi question de la classification des risques industriels et par la suite, de l'analyse des risques industriels majeurs et de notre démarche qui va déboucher sur la présentation des deux méthodes d'analyse qui ont été utilisées.

2.1. Évolution de la maîtrise des risques

La révolution industrielle (fin du XVIIème siècle) qu'a connu le monde, communément décrite comme le passage d'une société artisanale vers une société commerciale et industrielle, a nourri l'évolution voltigeuse des technologies et techniques de production. L'industrialisation effrénée des différents secteurs de production a touché différents secteurs notamment le secteur de l'énergie avec la naissance des premières exploitations en masse de charbon en France ainsi que dans d'autres pays ayant découvert des ressources minières. Le secteur de l'industrie du charbon s'est vu accompagné d'évènements malheureux, dont l'impact social s'est fait ressentir à travers le fort taux de décès chez les mineurs dus aux conditions de travail déplorables. L'avènement de la catastrophe de Courrières (France) du 10 mars 1906, avec ses 1 099 victimes, a nourri la prise de conscience générale du réel danger présenté par les poussières de charbon qui ont été la cause principale. Cela a poussé à réagir à différents niveaux, techniques, sociaux, réglementaires, et à se mobiliser pour mettre en œuvre les moyens afin qu'un tel évènement ne se reproduise plus (Cassini, Raffoux, & Tauaziède, 2007).

De nombreuses catastrophes industrielles dans le monde sont survenues par la suite, au-delà de la connotation négative prédominante d'une catastrophe qui renvoie aux victimes déplorées et aux dégâts engendrés, dans le domaine de la sécurité de tels évènements ont contribué à la naissance de la culture de sécurité et à son développement, des enseignements

précieuses, de par les analyses conduites à posteriori, ont été tirées des grandes catastrophes industrielles.

L'exemple le plus connu à travers les mesures qui ont en découlé, est la catastrophe de SEVESO en Italie. Le 10 juillet 1976, un accident chimique catastrophique survient à ICMESA, usine chimique italienne produisant des herbicides, et touche quatre communes dont Seveso, située au nord de l'Italie en Lombardie. Bien qu'elle n'eut fait aucune victime directe, il a été déploré plus de 200 brûlures chimiques de la peau dues à la substance libérée (« 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine » TCDD) qui fût baptisée par la suite la dioxine de SEVESO, rajoutant à cela, plus de 37000 personnes exposées, le décès de 3300 et l'abattage de plus de 81000 animaux. Suite à cela, une prise de conscience s'est installée. Les autorités européennes décident de réagir et publient en 1982 la directive dite « SEVESO I », imposant le recensement des établissements industriels présentant des risques d'accidents majeurs. En 1999, la directive « SEVESO II » a été publiée, puis «Seveso III» le 24 juillet 2012 qui est la plus récente (La rédaction, 2011).

En Algérie, entre temps les autorités Algériennes ont promulgué de nouvelles réglementations relatives à la prévention des accidents majeurs et de la gestion des catastrophes à travers :

- Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable qui abroge la loi n° 83-03 du 05 février 1983.

2.2. Risques industriels

Les risques industriels sont, à l'heure actuelle, une préoccupation primordiale des acteurs de l'industrie car ils sont à l'origine d'accidents qui ont pour conséquences des pertes non seulement directes qui portent préjudice aux humains, au matériel et à l'environnement, mais

aussi indirectes qui se mesurent aux pertes économiques et à l'image de marque de l'entreprise.

Le risque étant un concept qui a évolué dans le temps et qui reste aujourd'hui très nuancé selon le domaine auquel il se rattache. La notion de risque est née avec la naissance des jeux de hasard autrement dit des probabilités. Néanmoins, l'origine du mot reste obscure. Certains s'accordent à dire qu'il découle du mot arabe « rizq » et qu'au début du XI du fait des échanges commerciaux en méditerranée, il a été repris par les marchands italiens. La notion du risque a évolué et s'est rattachée aux environs du XVI siècle au rapport entre l'échec ou à la réussite dans une quelconque entreprise humaine (Magne, 2010).

Ramené au domaine de la sécurité, le risque est un concept clé autour duquel gravitent d'autres notions qui le complètent, notamment le danger, ce dernier est défini comme : une source, situation ou un acte ayant un potentiel de nuisance en termes de préjudice personnel ou atteinte à la santé, ou combinaison de ces événements (BSI British Standards, 2007).

Selon la Directive « Seveso II » le risque est défini comme : « probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées. En conséquence, un risque se caractérise selon deux composantes : la probabilité d'occurrence d'un événement donné, la gravité des effets ou conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire ».

Selon l'International Labour Organization (ILO), le terme « risque » désigne l'éventualité qu'un événement non désiré ayant des conséquences données survienne dans une période donnée ou dans des circonstances données, cette éventualité étant exprimée selon le cas en termes de fréquence (nombre d'événements donnés par unité de temps) ou en termes de probabilité (probabilité que se produise un événement donné à la suite d'un événement préalable).

Dans la norme ISO/CEI guide 73, le risque est défini comme la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité.

Nous retrouvons à travers ces diverses définitions attribuées au terme « risque », qu'elles soient énoncées par des organismes normalisateurs, des lois ou des directives, une convergence vers le fait que le risque est la probabilité d'occurrence d'un événement non souhaité (ENS) causant des effets sur des cibles selon leur vulnérabilité (homme, installation et environnement).

Selon la gravité et l'ampleur des accidents causés, deux grandes catégories de risques industriels ressortent :

2.2.1. Risques professionnels

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 reliés directement aux tâches connues, au contact avec certains produits dangereux et aux ambiances de travail, elles sont résumées comme suit :

- Risques mécaniques.
- Risques physiques.
- Risques électriques.
- Risques chimiques.
- Risques biologiques.
- Risques de transport.

Bien que 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, etc.), et fait appel à de nombreuses disciplines (ergonomie, toxicologie, etc.). 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 nous intéresserons par la suite aux risques majeurs (RM).

2.2.2. Risques majeurs (RM)

Il s'agit de risques dont les conséquences sont de grande ampleur (nombre important de victimes, destruction de bâtiments, impact environnemental important voir irréversible) et ne s'arrêtent pas aux limites de l'installation.

Deux types de RM émergent, les risques industriels dits technologiques dont l'homme ou les installations qu'il a mis en place sont à l'origine, et les risques naturels dont l'origine sont des catastrophes naturelles telles que les séismes et les catastrophes climatiques. Nous nous intéresserons par la suite au premier type de risques majeurs, les risques industriels ou

technologiques majeurs (RTM) car le risque de catastrophe naturelle est considéré comme inexistant d'après l'étude de dangers de l'installation.

Les RTM sont reliés à la probabilité d'occurrence d'un accident technologique majeur qui est connu par son caractère soudain et particulièrement rapide. Un accident est dit technologique majeur lorsqu'il répond aux critères suivants :

- Nombre élevé de victimes humaines (morts ou blessés).
- Dégâts importants sur l'installation et aux alentours.
- Pollution permanente ou sur une longue durée, de l'environnement (faune, flore, bâtiments et constructions diverses).
- Conséquence d'un risque lié à l'installation (défaillance technique, explosion, incendie...).

La directive Seveso II de 1996 définit un accident majeur (industriel) comme un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses..

2.3. Analyse des risques technologiques majeurs

Face à des risques pouvant causer d'éventuels accidents majeurs (événements peu probables mais une fois qu'ils surviennent causent des conséquences incommensurables) la nécessité de prévenir et de mettre en place des mesures pour éviter de tels événements devient primordiale. Dans ce cadre plusieurs approches ont vu le jour, dont l'analyse des risques majeurs qui représente la pièce maitresse dans la démarche de maîtrise et de gestion de ces risques.

L'analyse du risque est définie dans le Guide ISO/CEI 51 :1999 comme l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque.

2.3.1. But et finalité

L'analyse des risques technologiques majeurs est un processus dont le but est de prévenir et résoudre les problèmes en matière de sécurité que présente une installation industrielle ou une

partie de celle-ci. Autrement dit le but ultime est la maîtrise de ces risques et leurs gestions dans le temps et les changements qu'ils imposent.

L'analyse des risques (AR) n'étant pas une fin en soit, elle est conditionnée par l'éthique, qui se traduit par la responsabilité des acteurs de cette analyse envers toutes les parties prenantes de l'installation en question, en partant du premier responsable jusqu'aux collectivités locales proches de celles-ci.

2.3.2. Objectifs

D'une analyse des risques correctement menée découle la maîtrise des risques qui est un moyen de :

- Augmenter la confiance des parties prenantes en ce projet ;
- Être conforme aux exigences réglementaires ;
- Faire preuve d'une bonne communication publique ;
- Générer des documents indispensables à la gestion de la sécurité (plan d'intervention interne...)

2.3.3. Domaine d'application

L'AR faisant partie du processus de gestion des risques décrit dans la figure 2.1. L'AR vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent donner lieu à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les infrastructures aussi bien à l'intérieur de l'installation qu'à ses alentours. Elle permet également de mettre en avant les barrières de sécurité manquantes et surtout les mesures à mettre en place en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en atténuer les conséquences (barrières de protection).

L'évolution de l'installation dans le temps, pose une contrainte quant à la pertinence de l'analyse des risques. Pour remédier à cela il faudrait établir des points discrets quant à au redéploiement de l'analyse, pour ressortir avec un suivi fidèle à l'évolution des installations, avec la prise en compte des risques de transition lors de la réalisation de nouveaux projets (construction, modification).

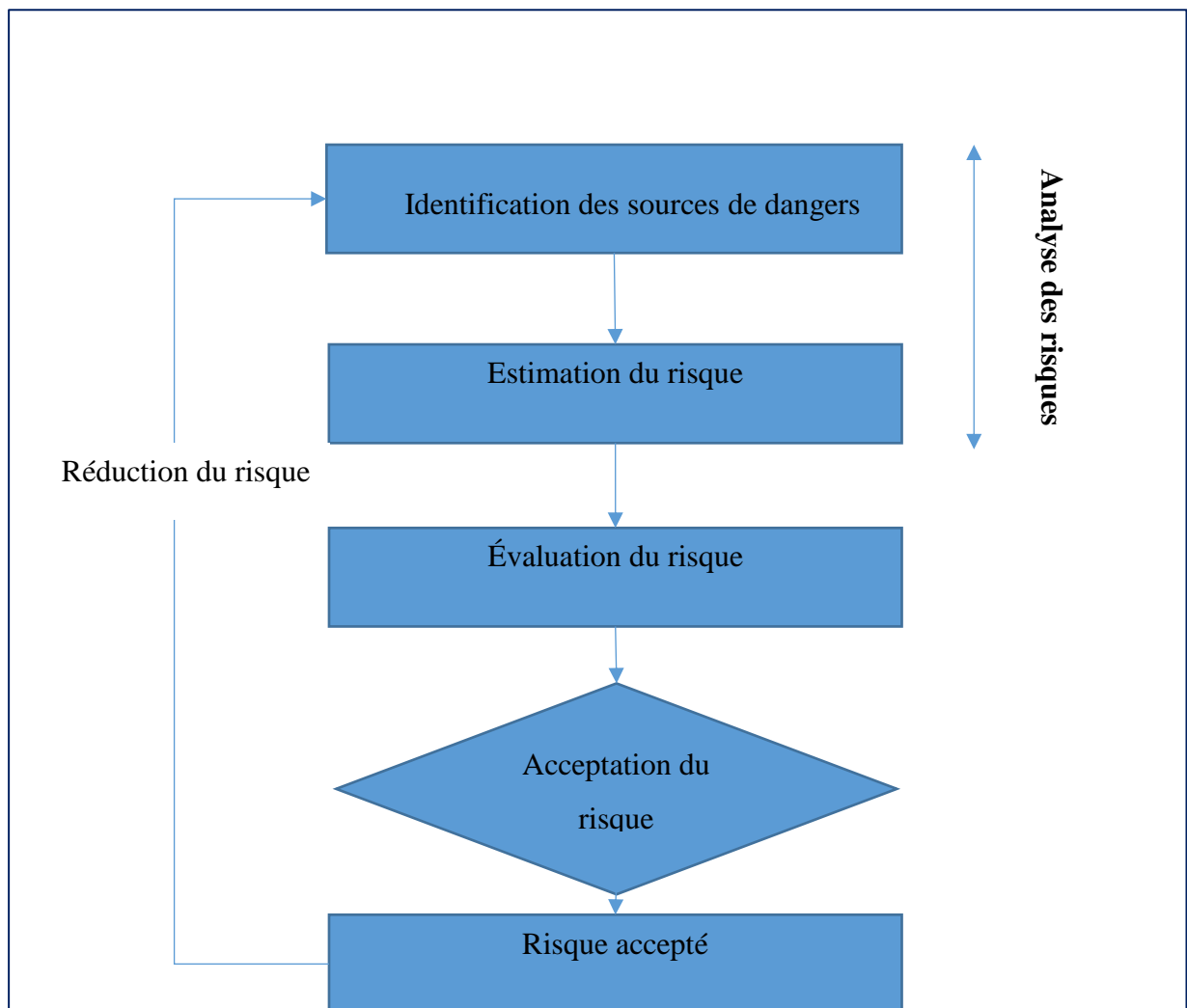


Figure 2.1. Processus de la gestion des risques (Bernuchon & Salvi, 2003)

La démarche adoptée dans l'analyse des risques majeurs s'axe sur un travail exploratoire qui se caractérise par la chasse aux anomalies sur le système de refroidissement fonctionné par l'ammoniac

Une fois les deux méthodes déployées, les résultats obtenus seront des éléments pour le choix des solutions à proposer et à mettre en place dans le but de sécuriser et de protéger les installations ciblées contre les risques jugés critiques.

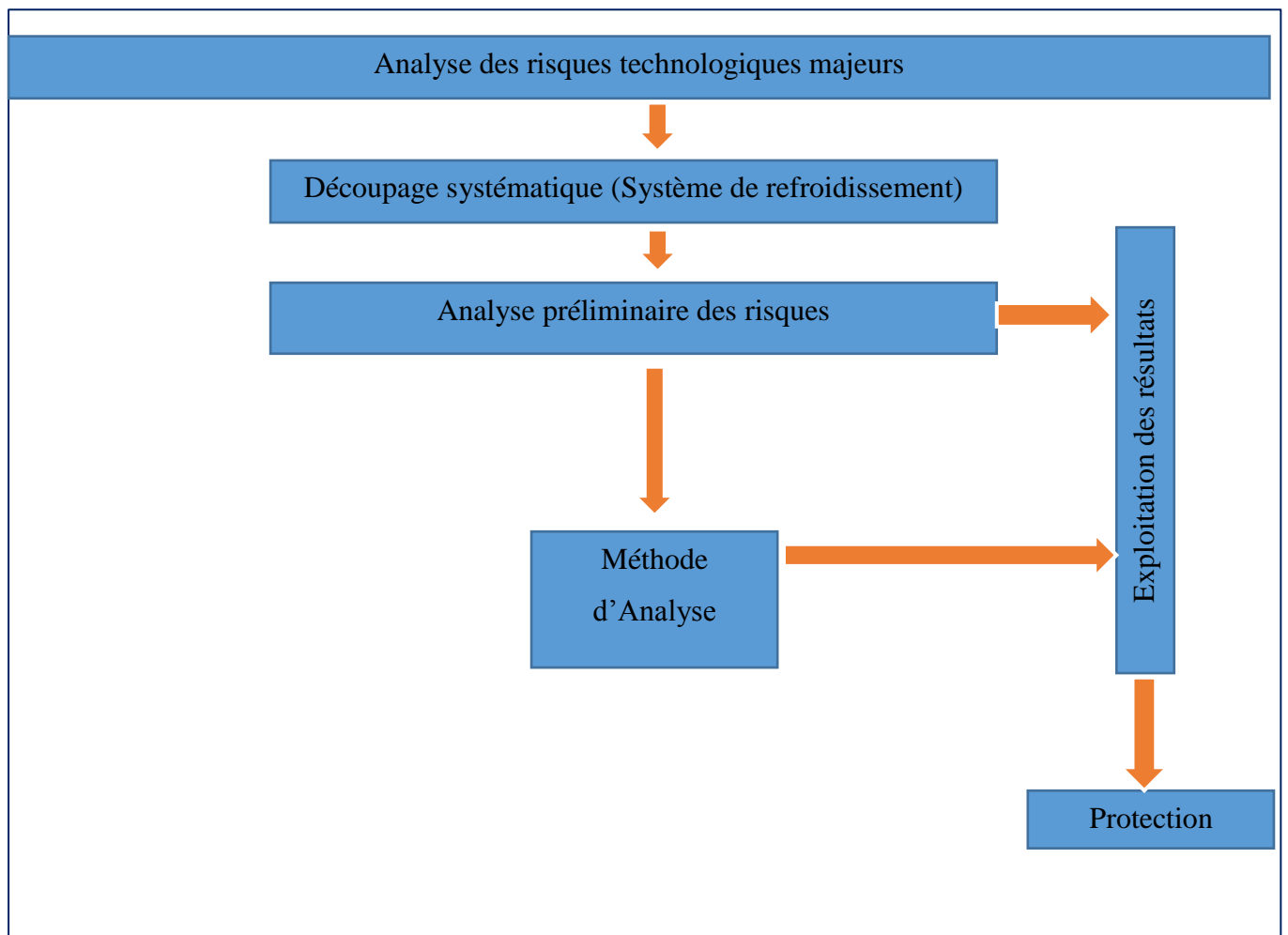


Figure 2.2. Démarche d'analyse des risques

2.4. Présentation des méthodes d'analyse des risques

Les méthodes d'analyse présentées dans cette partie constituent des outils indispensables auxquels nous avons fait appel pour l'aboutissement du processus d'analyse, chaque méthode apporte à des niveaux différents de détails des informations précieuses qui serviront par la suite à l'adoption de mesures appropriées pour la réduction des risques prépondérants.

2.4.1. Analyse préliminaire des risques (APR)

L'APR est avant tout une démarche structurée et organisée de façon à permettre d'apprécier à priori les risques présents sur un site. Cette méthode est largement utilisée et connue pour sa capacité à s'adapter à tous types d'installations.

2.4.1.1. Origine de la méthode

L'analyse préliminaire des risques a vu le jour aux débuts des années 1960. Elle a été utilisée au début dans les domaines aéronautiques et militaires et s'est développée en démarche généralisée qui a fait ses preuves dans différents domaines et industries (Bernuchon & Salvi, 2003).

2.4.1.2. Domaine d'application

L'APR est applicable à toutes les installations et comme son nom le précise est utile pour l'appréciation préliminaire des risques, à condition qu'elle soit conduite dans des contextes temporels précis dans le cycle de vie de l'installation et qu'elle soit en concordance avec des objectifs d'étude bien définis. Autrement dit l'application de cette méthode s'avère pertinente lors de :

- La phase de conception (projet) d'une installation pour instaurer la première analyse en matière de sécurité et qui permet d'éviter les anomalies sécuritaires majeures dans le procédé et aussi déboucher sur les premières consignes d'exploitation.
- La phase d'exploitation d'une installation complexe et cela comme outil de départ d'une démarche d'analyse des risques, qui va permettre de sélectionner les risques qui peuvent ultérieurement faire l'objet d'études plus approfondies à l'aide d'autres méthodes plus en profondeur.
- Une analyse des risques effectuée sur une installation simple avec des objectifs pas très exigeants en matière de sécurité (Bernuchon & Salvi, 2003).

2.4.1.3. Principe de la méthode

Dans le but d'énumérer fidèlement et de manière exhaustive les risques inhérents à notre installation, il est indispensable de passer en premier lieu par une analyse fonctionnelle de l'installation (SADT) dont découle une description fonctionnelle des équipements (sous-systèmes) qui composent l'installation de refroidissement. Cette description représente l'assise de l'enchaînement résumé dans la figure 2.3 (Mortureux, 2005).

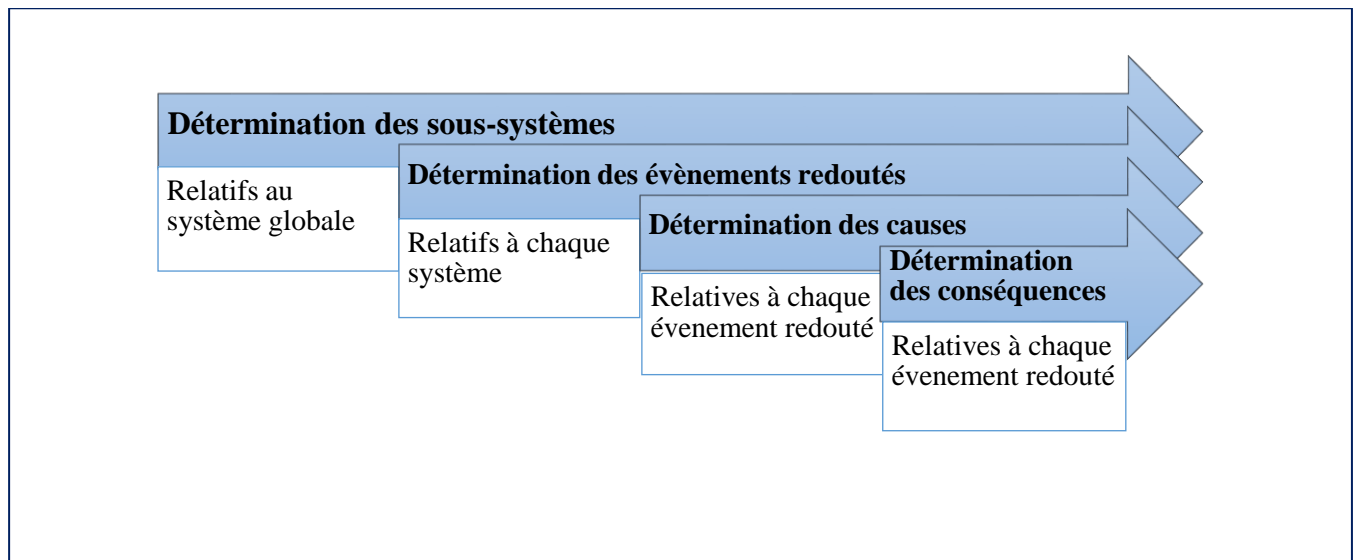


Figure 2.3. Principes de la méthode APR

L'enchaînement représenté par la figure 2.3 fait appel, dans la détermination des conséquences, à un travail d'équipe qui par la suite consistera à :

- Coter les fréquences d'occurrence des événements redoutés (ER) en s'appuyant sur leurs causes.
- Déterminer les niveaux de gravité en s'appuyant sur les conséquences que peut engendrer l'ER.

Dans la plupart des cas nous intégrons les deux paramètres (fréquence (F) et gravité (G)) dans une matrice à deux dimensions pour la hiérarchisation des risques en fonction des objectifs en matière de sécurité.

2.4.1.4. Déroulement de la méthode

En respectant les principes de la méthode, le déroulement de celle-ci se fera selon les étapes suivantes :

Étape 1 : définition du système et détermination des sous-systèmes

Délimitation et détermination de la mission du système à analyser et découpage fonctionnel des sous-systèmes (équipements) en utilisant la méthode SADT et qu'on les considère comme éléments dangereux.

✓ Analyse fonctionnelle « diagramme SADT »

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic) est une méthode graphique qui démarre du général pour arriver au particulier. On va l'appliquer pour décrire le système et le décomposer et définir ses principales fonctions ainsi que les interactions entre elles

✓ Origine de la méthode

La SADT est une méthode développée pour Softech par Doug Ross en 1977, d'origine américaine, puis introduite en France à l'année 1982 par Michel Galinier. Elle se répandit vers la fin des années 1980 comme l'un des outils standards de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle descendante.

✓ Représentation graphique

Une fonction est modélisée par une boîte (ou un module) qui est située dans son contexte avec d'autres boîtes et reliée par des flèches de relation. Ces flèches représentent les contraintes de liaisons entre boîtes (Figure 2.4).

- **Fonction** : est caractérisée par une action sur des matières d'œuvres en entrées. La fonction globale définie par le niveau A-0.
- **Dispositif de la fonction** : est l'élément physique qui réalise la fonction.
- **Matière d'œuvre en entrée** : est la matière d'œuvre modifiée par la fonction considérée.
- **Matière d'œuvre sortante** : est la matière d'œuvre munie de sa valeur ajoutée. S'ajoute aux matières d'œuvres sortantes.

Données de contrôle : elles sont les paramètres qui déclenchent ou modifient la réalisation de la fonction. Elles s'agissent de quatre catégories :

- **R** : Paramètre de réglage.
- **C** : Paramètre de configuration.
- **E** : Données d'exploitation/consigne de fonctionnement.
- **W** : Mise en énergie ou présence de matière d'œuvre.

✓ Etapes de la création d'un modèle

Choisir le but et les objectifs d'analyse : Le principe but de l'analyse fonctionnelle SADT est de donner une description du système, le décomposer et identifier ses fonctions ainsi que les principales interactions entre elles.

Créer le contexte général et le premier actigramme de la décomposition des activités.

Au début, on crée un diagramme A-0 qui représente le contexte général et la finalité du système technique). Ce niveau A-0 se décompose en n modules A1, A2,...,An, qui construit le niveau A0, etc..., et à partir des données frontières du diagramme A-0.

Continuer la décomposition des activités du modèle sur quelques niveaux

Le processus de décomposition se poursuit de sorte que chaque diagramme de niveau inférieur représente et définisse les sous-fonctions du système ainsi que les relations entre eux.

✓ Avantages de SADT

- SADT permet de donner une clarification et une décomposition analytique de la complexité d'un système.
- Gain du temps.
- Diagramme intemporel

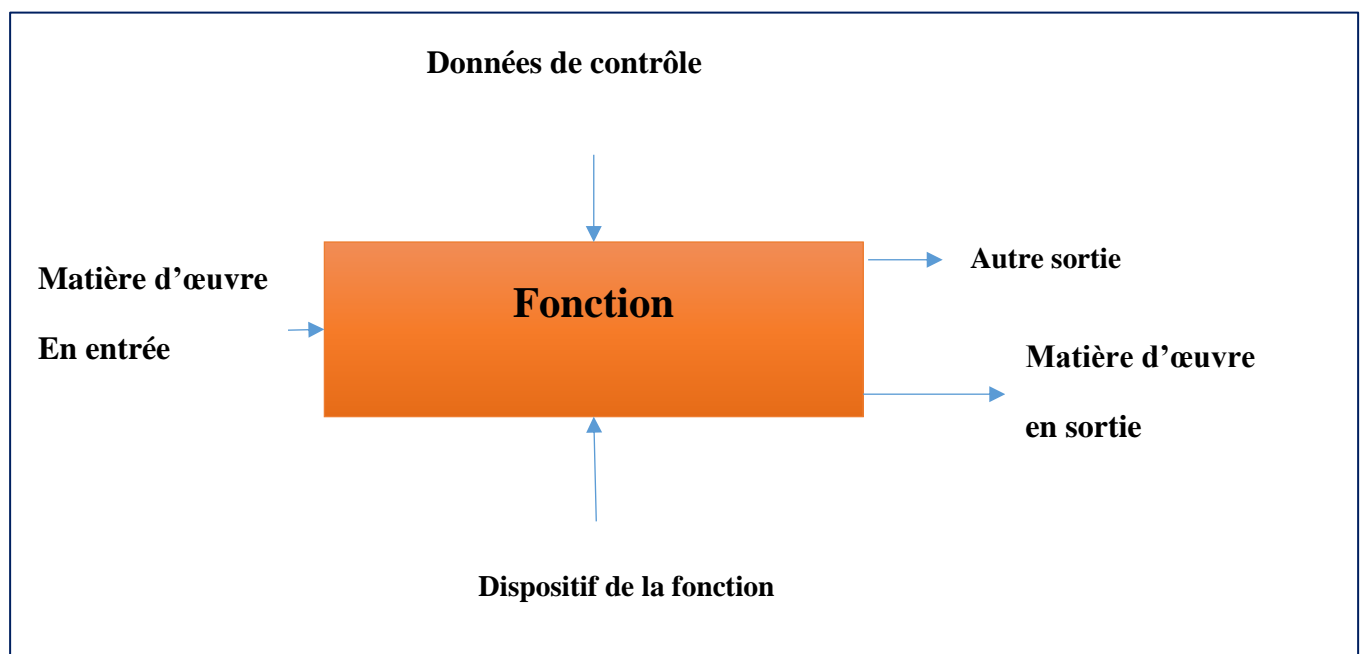


Figure 2.4. Représentation d'une fonction

Étape 2 : détermination des évènements redoutés(ER)

Déterminer les évènements redoutés résultant de la situation dangereuse et du déclenchement d'un évènement initiateur en s'appuyant sur le retour d'expérience.

Étape 3 : détermination des causes et conséquences

Énumérer les causes qui sont à l'origine de chaque ER et les conséquences qui peuvent en découler.

Étape 4 : établissement de grilles d'évaluation (F et G)

Mise en place d'une grille d'évaluation de la fréquence (**F**) d'occurrence de l'évènement et de la gravité (**G**) des conséquences engendrées. Dans la plupart des cas, nous adaptons des grilles que nous retrouvons dans les bases de données qui sont nuancées par le retour d'expérience quant à l'utilisation de celles-ci.

Étape 5 : évaluation de la criticité du risque (C)

Évaluation de la fréquence et de la gravité de chaque évènement non souhaité.

Par la suite, vient le calcul à partir de ces estimations de la criticité (**C**) du risque à l'aide de la formule : $C = F \times G$

Étape 6 : réévaluation de la criticité du risque (C')

- Lister les mesures de prévention existantes pour réévaluer la fréquence (F').
- Lister les mesures de protection existantes pour réévaluer la gravité (G')

Nous ressortons par la suite avec un niveau de risque réévalué ($C' = F' \times G'$).

Étape 7 : hiérarchisation des risques

Hiérarchisation des risques à l'aide d'une matrice à deux dimensions (F, G) en ressortant avec des catégories de risques :

- Risques acceptables ;
- Risques modérés ;
- Risques inacceptables.

Étape 8 : recommandations

Proposer des mesures de réduction du niveau des risques dont le niveau est jugé inacceptable ou modéré selon les exigences et les objectifs définis.

Le tableau type (2-1) proposé et qui constitue le produit de l'APR lors du déploiement de la méthode est le suivant :

Tableau 2.1. Tableau type du déploiement de l'APR

Système	Évènements redoutés	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesures de prévention	P'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions	Synthèse
												Remarques	

2.4.1.5. Avantages et limites

La méthode APR permet de faire un inventaire des dangers présents dans une installation et d'évaluer les risques qui en découlent, elle permet aussi de mettre en évidence les priorités des mesures à mettre en place dans un premier temps pour diminuer le niveau des risques.

Elle permet également de souligner des points critiques qui feront par la suite l'objet d'analyses plus minutieuses en faisant appel à des méthodes comme l'AMDEC/HAZOP pour la maîtrise des risques.

2.4.2. Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur criticité (AMDEC)

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode rigoureuse de détection des défauts potentiels qu'on peut appliquer à un produit ou à un procédé. C'est un outil qui permet d'évaluer les risques potentiels pouvant survenir au cours du processus puis de les hiérarchiser et de mettre en place des actions correctives (Boubaker, Djebara, & Gondran, 2008).

2.4.2.1. Historique et domaine d'application

L'AMDEC a été utilisé pour la première fois dans le domaine d'aéronautique pendant les années 1960. Son emploi s'est largement répandu à d'autres secteurs d'activités. Elle est adaptée à l'étude des défaillances de matériaux et d'équipements et peut s'appliquer aussi bien à des systèmes de technologies différentes (système électriques, mécaniques, hydrauliques...) (INERIS).

2.4.2.2. Principe de l'AMDEC

Elle repose sur les concepts présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2.2. Principe de l'AMDEC (INERIS)

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

2.4.2.3. Déroulement

Une AMDEC est une méthode qui se déroule selon la démarche qui suit :

- **Étape 1 : Analyse et découpage fonctionnel**

On applique une décomposition fonctionnelle sur notre système ou sous-système via une analyse fonctionnelle classique SADT, afin de déterminer les composants formant le système, et aussi définir les fonctions qui assurent la mission et le fonctionnement du système.

- **Étape 2 : Détermination des modes de défaillance**

Dans cette étape, on va recenser tous les modes de défaillances possibles. Autrement dit, on va identifier des variations possibles qui pourraient perturber le bon fonctionnement du système on se basant sur la norme (CEI 60812, 2006).

Tableau 2.3. Modes de défaillances généraux (CEI 60812, 2006)

N°	Mode de défaillance
1	Fonctionnement prématuré
2	Ne fonctionne pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

Tableau 2.4. Modes de défaillance génériques (CEI 60812, 2006)

N	Mode de défaillance	N°	Mode de défaillances
1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise en marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	19	Ne s'arrête pas
3	Vibration	20	Ne démarre pas
4	Ne reste pas en position	21	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	23	Fonctionnement pré délais prévu (retard)
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erronée (augmentation)
8	Défaillance en position fermé	25	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erronée (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erronée (diminution)
11	Dépassé la limite supérieure tolérée	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert
15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autres
17	Écoulement réduit		

- Étape 3 : Identification des causes, des effets de la défaillance

Pour chaque mode de défaillance, on détermine les différentes causes potentielles conduisant à ce mode, ensuite on identifie les effets que peuvent en engendrer.

- Étape 4 : Estimation du risque et calcul de criticité

Dans cette étape, il consiste à calculer le niveau de criticité. Ce niveau est calculé à partir de 3 facteurs selon la formule qui suit :

$$C = \text{Gravité} * \text{Probabilité d'occurrence} * \text{Niveau de détection.}$$

- **Étape 5 : Actions correctives**

Proposer des actions correctives pour éviter ou supprimer les causes de défaillances, ces dernières peuvent être d'ordre préventif ou correctif.

Voilà le support de l'ensemble des étapes précédentes sous forme d'un tableau AMDEC.

Tableau 2.5. Exemple tableau AMDEC

Sous-système	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	G	F	D	C	Actions correctives

2.4.2.4. Avantages et limites

L'AMDEC est un outil très important pour la sûreté de fonctionnement et d'une manière générale de la robustesse et de la fiabilité des systèmes. Toutefois il ne permet pas de donner une vision croisée (défaillances surviennent en même temps) des défaillances possibles et de leurs conséquences. Dans ce cas, des études complémentaires sont nécessaires, par arbres de défaillances notamment.

2.4.3. Hazard and Operability study (HAZOP)

2.4.3.1. Historique et domaine d'application

La méthode HAZOP, pour HAZard OPerability, a été inventée en 1965 en Grande-Bretagne par la société ICI (Imperial chemical industries). Elle a été appliquée dans différents secteurs d'activité. Une version française de cette méthode a été publiée en 1980 par l'Union des Industries Chimiques (UIC) et par la suite elle est adoptée par la majorité des industriels de la chimie, de la pétrochimie et du raffinage.

L'HAZOP est utilisée uniquement pour des systèmes comportant des fluides sans tenir compte des facteurs humains. Elle peut être mise en œuvre dès la conception d'une installation, comme au cours de son exploitation ou lors de sa modification

Elle compte tenu systématiquement les dérives des paramètres d'un système afin d'en identifier les causes et les conséquences, la HAZOP est une méthode utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, sur des grandeurs comme le débit, la pression, la température et le niveau et qui sont très importants concernant la sécurité de l'installation.

2.4.3.2. Principe de la méthode HAZOP

Les principes de la méthode HAZOP sont reposés sur :

- Identifier les phases de fonctionnement du système étudié ;
- Déterminer des paramètres liés à l'exploitation : pression, température, débit, concentration, etc. ;
- Combiner les paramètres identifiés avec des mots-clés (trop de, pas assez, pas de de, plus de moins de, etc.).

Enfin pour chaque dérive, il faut qu'on détermine :

- Les causes.
- Les conséquences.
- Les moyens de détection existants.
- Les actions correctives existantes.

2.4.3.3. Déroulement de la méthode HAZOP

Étape 1 : Faire connaître l'installation étudiée

Identifier les différents éléments du système, par une analyse fonctionnelle(SADT). Ensuite identifier les paramètres d'exploitation : température, pression, niveau pour tout élément ou composant.

Étape 2 : Sélectionner un paramètre de fonctionnement

Les paramètres sélectionnés sont des paramètres qui affectent la sécurité du système. Et l'analyse doit être reproduite sur tous les paramètres choisis :

Étape 3 : Appliquer un mot-clé guide et générer la dérive de fonctionnement

Les mots-clés les plus souvent utilisés sont :

- Trop, trop de ;
- Moins, moins de ;
- Plus, plus de ;
- Pas ou plus du tout ;
- Inverse ;

- Autre que ;
- Pas au bon moment (plus tôt, plus tard, avant, après, en même temps), etc.

Étape 4 : Vérifier que la dérive est possible

Vérifier que la dérive est possible pour continuer la démarche, sinon revenir à l'étape 3.

Étape 5 : Identifier les causes et les conséquences de la dérive

Déterminer tous les causes et les conséquences possibles de la dérive.

Étape 6 : Identifier les moyens de détection et de correction existants

Identifier tous les outils existants de détection et de correction :

Étape 7 : Proposer des actions correctives ou des recommandations

Proposer, le cas échéant, des recommandations, améliorations et des actions correctives.

Étape 8 : Vérifier que tous les mots-clés pertinents ont été utilisés

Lorsque tous les mots-clés ont été employés pour le paramètre considéré, on revient à l'étape 2 sinon à l'étape 3.

Étape 9 : Analyse d'un nouvel composant ou élément du système

Le tableau pouvant nous être utilisé est le suivant :

Tableau 2.6. Modèle du tableau HAZOP

Equipement :						
Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes/ Propositions d'amélioration	Observation

2.4.3.4. Avantages et inconvénients de la méthode

L'HAZOP est une méthode particulièrement efficace pour les systèmes thermo-hydrauliques, elle présente un caractère systématique et méthodique. En plus, elle considère les dérives de

paramètres de fonctionnement du système, mais elle évite de considérer tous les modes de défaillances possibles pour chaque composant du système.

D'autre part, l'HAZOP rend difficile l'analyse des événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. En outre, il arrive d'être difficile d'attribuer un mot-clé à une partie bien définie du système à étudier. Cela complique en particulier l'identification complète des causes potentielles d'une dérive.

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes méthodes d'analyse utilisés APR, HAZOP et AMDEC. Nous avons parlé sur leurs historiques, domaine d'application, avantages et inconvénients et on a bien présenté leurs déroulements.

Dans le chapitre suivant, nous allons appliquer les méthodes précédentes pour obtenir des résultats qu'on va exploiter après.

2.4.4. Arbre des défaillances (AdD)

2.4.4.1. Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Telephone.

Elle vise à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un évènement redouté pris comme référence. Elle est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique, agroalimentaire ... (INERIS)

2.4.4.2. Principe

L'analyse par AdD est une méthode de type déductif. En effet, sa construction s'agit de :

- Commencer par le point de départ "évènement redouté" (appelé évènement sommet).
- Déterminer les enchaînements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à l'évènement redouté.

Cette analyse nous permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base qui sont à l'origine de l'évènement sommet, ces derniers (évènements de base) sont généralement des :

- Évènements considérés comme élémentaires dont les causes ne seront pas développées,
- Évènements élémentaires qui sont connus et décrits par ailleurs. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.
- Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

L'analyse par AdD est fondée sur les principes qui suivent quelle que soit la nature des évènements de base identifiés :

- Ces évènements sont indépendants,
- Leur probabilité d'occurrence peut être évaluée,
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples.

L'analyse par AdD permet d'identifier les successions d'évènements qui conduisent des évènements de base jusqu'à l'évènement redouté. Les liens entre les différents évènements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. Les conventions de présentation sont proposées dans la norme CEI 61025 :1990 « Analyse par Arbre de Panne (APP) ». À l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement final à partir des probabilités des évènements de base identifiés.

2.4.4.3. Déroulement

L'analyse par arbre des défaillances d'un évènement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'évènement redouté étudié,
- Élaboration de l'arbre,

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système (Analyse fonctionnelle « SADT » dans notre cas). Nous verrons que cette dernière est

primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques (INERIS).

- Définition de l'évènement redouté

La définition de l'évènement redouté est une étape cruciale et très importante pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet évènement est défini de manière précise, plus simple sera l'établissement de l'arbre des défaillances. Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des évènements jugés particulièrement critiques. En ce sens, l'utilisation préalable de méthodes inductives (APR, AMDEC, HAZOP) permet d'identifier les évènements qui méritent d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances.

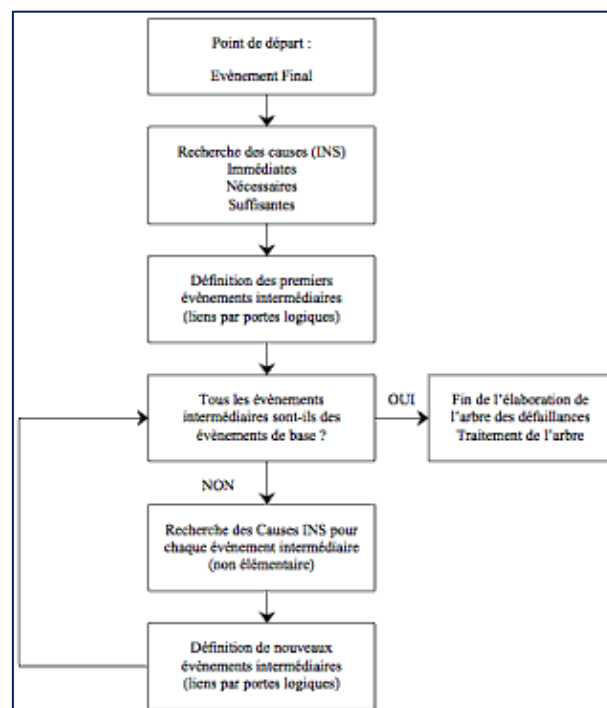


Figure 2.5. Démarche pour l'élaboration d'un arbre de défaillances (INERIS)

2.4.4.4. Élaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances a pour but de déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final défini. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires.

L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant :

La recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de l'établissement de l'Add. Il s'agit probablement de l'étape la plus difficile donc la mise en

œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour la construction de l'arbre.

Pour déterminer les événements intermédiaires, il est nécessaire de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes.

- Coupes minimales- chemin critique-

Une coupe minimale est la plus petite combinaison d'événements pouvant conduire à l'ER donc on parle sur le chemin critique, leur recherche est faite à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

Tableau 2.7. Différence opérations

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

2.4.4.5. Limites & avantages

L'avantage principal de l'analyse par AdD est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'événements pouvant conduire in fine à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs événements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des événements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels. L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques.

2.4.5. Arbre des événements(AdE)

2.4.5.1. Historique et domaine d'application

L'analyse par AdE a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation des risques liés aux centrales nucléaires.

Son utilisation est particulièrement dans le domaine du nucléaire, mais elle s'est étendue à d'autres secteurs d'activité. Cette analyse s'applique également sur des sous-systèmes bien déterminés et apporte une aide précieuse pour traiter des systèmes comportant de nombreux composants de sécurité et de leurs interactions.

2.4.5.2. Principe

La méthode d'analyse par AdE suppose la défaillance d'un composant d'un système ensuite il tente à identifier les événements qui en découlent. Sur la base d'un événement initiateur (défaillance initiale) l'analyse des AdE permet d'estimer la dérive du système en envisageant systématiquement l'opération ou la défaillance des outils de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention.

2.4.5.3. Déroulement

La démarche à suivre pour établir une analyse par AdE est la suivante :

a) Définir l'événement initiateur à considérer

Il est également nécessaire de déterminer un événement initiateur qui peut effectivement conduire à une situation critique. Dans notre cas l'évènement initiateur se sera la surpression.

b) Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face

Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières en réponse à l'événement initiateur. Elles ont en général pour objectif d'empêcher, dans la mesure du possible, que l'événement initiateur soit à l'origine d'un accident majeur. Elles se déclinent le plus souvent en :

- Fonctions de détection de l'événement initiateur,
- Fonctions d'alarme signifiant l'occurrence de l'événement initiateur,

- Fonctions de limitation visant à empêcher que l'événement initiateur ne perdure dans le temps,
- Fonction d'atténuation s'attachant à réduire les effets de l'événement initiateur.

Il est judicieux de dresser un tableau des fonctions de sécurité faisant figurer ou équipements prévus pour assurer ces fonctions.

c) Construction de l'arbre

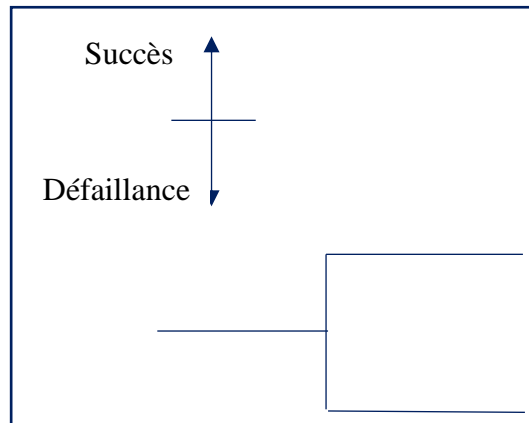


Figure 2.6. Schéma d'un AdE

L'établissement de l'AdD sert à envisager à partir de l'événement indésirable soit le bon fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité.

L'événement initiateur est représenté schématiquement par un trait horizontal. Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représentée par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance de cette fonction.

La suite de la méthode consiste alors à examiner le développement de chaque branche de manière itérative en considérant systématiquement le fonctionnement ou la défaillance de la fonction de sécurité suivante. Cette démarche temporelle permet d'identifier des séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à un accident potentiel.

2.4.5.4. Limites et avantages

L'AdE permet d'examiner, à partir d'un événement initiateur, le successivement des événements pouvant conduire ou non à un accident potentiel. Elle trouve ainsi une utilité

toute particulière pour l'étude de l'architecture des moyens de sécurité (prévention, protection, intervention) existants ou pouvant être envisagés sur un site. À ce titre, elle peut être utilisée pour l'analyse d'accidents a posteriori. Cette méthode peut s'avérer rapidement lourde à mettre en œuvre. En conséquence, il faut définir avec discernement l'événement initiateur qui fera l'objet de cette analyse. (Ineris, Omega_2)

Chapitre 3. Application des méthodes d'analyse

Chapitre 3. Application des méthodes d'analyse

Le déploiement des méthodes d'analyse est le cœur de la démarche d'analyse des risques technologiques majeurs. Ces méthodes considérées comme des outils inter complémentaires, qui font appel à des démarches à adopter pour la bonne conduite et l'obtention de résultats pertinents. L'utilisation de ces méthodes est conditionnée par une présence accrue sur le terrain et le sens de l'observation des détails.

Dans ce chapitre, il sera exposé les critères d'évaluation établis et utilisés dans la conduite des méthodes (APR, HAZOP et AMDEC) ainsi que les résultats obtenus et les recommandations qui en découlent.

3.1. Analyse Préliminaire des risques (APR)

3.1.1. Identification des systèmes

Au cours de cette étape, nous allons réaliser une décomposition fonctionnelle de notre système frigorifique qui nous permet de ressortir un découpage précis en sous-systèmes qui constituent les parties ciblées de l'installation Ensuite nous allons déployer une APR globale pour tout le système afin de trouver et déterminer l'élément (sous-système) le plus critique et lequel on doit faire une étude plus détaillée et approfondis avec des méthodes d'analyse des risques complémentaires.

3.1.2. Application de la méthode SADT

a) Choisir le but et les objectifs d'analyse

Notre principal but à partir de cette méthode SADT est de décomposer le SR, identifier ses composants et leurs fonctions ainsi que les principales interactions entre elles sous forme d'un schéma.

b) Créer le contexte général et le premier diagramme de la décomposition des activités

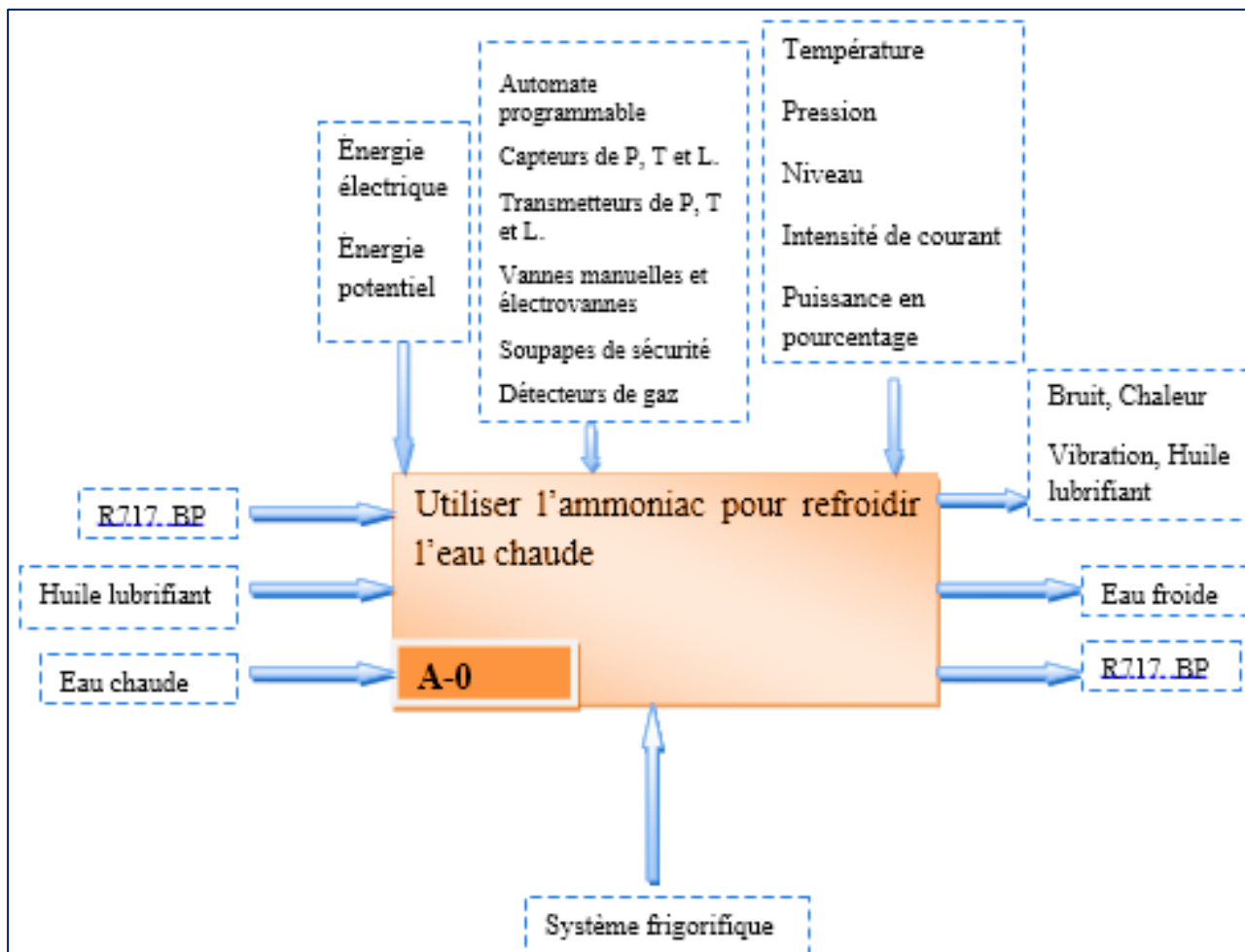


Figure 3.1. Diagramme A-0 (Contexte général)

Nous allons, par la suite, décomposer ce niveau en 5 modules A1, A2, A3, A4 et A5 à partir des données frontières du diagramme A-0.

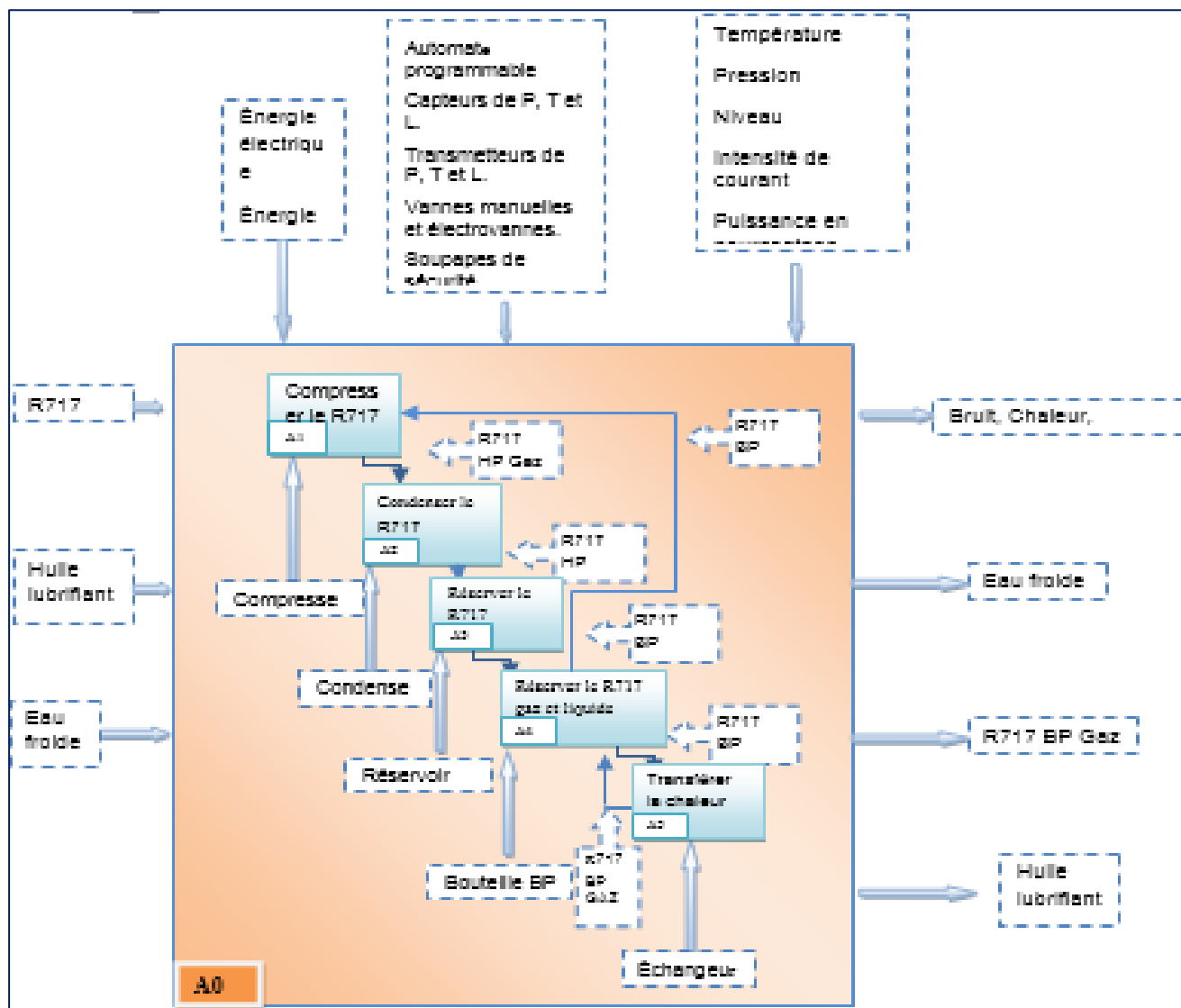


Figure 3.2. Diagramme A-0

Le processus de décomposition (Annexe 1) est effectué de sorte que chaque diagramme de niveau inférieur définisse les sous-fonctions du système ainsi que les relations entre eux. Le système identifié est le système de refroidissement fonctionnant à l'Ammoniac.

Tableau 3.1. Découpage du système de refroidissement

Système : Installation de refroidissement d'Ammoniac								
Sous-systèmes				Équipements				
Ss-N°	Nom	Entré	Sortie	E-N°	Fonction	Entré	Sortie	Équipement
A10	Compresseur	R717 Gaz BP, R717 Liquide	R717 Gaz HP	A11	Tourner les rotors de compresseur	Énergie électrique	Énergie mécanique	Moteur électrique

		BP, Huile lubrifiant et énergie électrique		A12	Aspirer, refouler et compresser le R717	R717 Gaz BP et Huile lubrifiant	R717 Gaz BP et Huile lubrifiant	Compresseur à vis
				A13	Aspirer et Injecter l'huile lubrifiant	Huile lubrifiant	Huile lubrifiant	Pompe à huile
				A14	Séparer le R717 du lubrifiant	R717 Gaz HP et Huile lubrifiant	R717 Gaz HP et Huile lubrifiant	Séparateur d'huile
				A15	Régler la puissance du compresseur	Énergie mécanique	R717 HP Gaz	Tiroir de puissance
A20	Condenseur	R717 Gaz HP, énergie électrique et Eau	R717 Liquide HP et eau chaude	A21	Réserver l'eau	Eau	Eau	Bâche à eau
				A22	Aspirer et refouler l'eau	Eau	Eau	Pompe
				A23	Refroidir et condenser R717 Gaz HP	R717 Gaz HP	R717 Liquide HP	Condenseur évaporatif
				A24	Produire l'air	Énergie électrique	Air	Ventilateur à moteur
				A25	Aspirer et refouler R717	R717Gaz HP	R717 Gaz HP	Pompe
A30	Bouteille HP	R717 Liquide	R717 Liquide	A31	Stockage de R717	R717 Liquide	R717 Liquide HP	Bouteille (Cuve)

		Haute Pression	Haute Pression		Liquide HP	HP		
A40	Bouteille BP	R717 Gaz BP/Liquide BP	R717 Gaz BP/Liquide BP	A41	Agir sur le débit de R717	R717 Liquide HP	R717 Liquide HP	Électrovanne
				A42	Réduire la pression	R717 Liquide HP	R717 Liquide BP	Détendeur
				A43	Stocker le R717 GAZ et Liquide HP	R717 Gaz BP/R717 Liquide BP	R717 Gaz BP/R717 Liquide BP	Bouteille
A50	Échangeur à plaque	R717 Liquide HHP	R717 Gaz HHP	A51	Refroidir l'eau chaude	Eau chaude, R717 BP Liquide	Eau froide, R717 BP Gaz	Échangeur
				A52	Réserver l'huile lubrifiant	Huile lubrifiant	Huile lubrifiant	Pot d'huile
				A53	Réserver l'eau	Eau froide	Eau chaude	Circuit eau

3.1.3. Critères d'évaluation

Afin d'évaluer la criticité (score) des risques nous faisons appel à des grilles d'appréciation des probabilités d'occurrence et de la gravité qui ont été adaptées des grilles usuelles et validées par l'équipe de l'usine et l'encadrement pédagogique.

De la combinaison des deux facteurs, gravité et probabilité, ressort une matrice de hiérarchisation des risques.

3.1.4. Interprétation des résultats

La SADT nous a permis d'obtenir des éléments pertinents grâce à un découpage minutieux, en respectant les principes de la méthode et au cheminement des étapes prédéfinies qui a été suivi par l'identification des équipements.

Le déploiement de la méthode APR s'est réalisé et fait le résumé dans un tableau qui est joint en annexe B.

- Résultats

Les résultats obtenus par l'APR sont les suivants :

a) Sans barrières de sécurité

L'analyse nous a permis d'obtenir la matrice de criticité suivante.

Tableau 3.2. Positionnement des sous-systèmes

		Gravité			
		1	2	3	4
Fréquence	1	1	2	3	4
	2	2	4	Compresseur à vis (fuite) 6	Echangeur(Fuite) 8
	3	3	Condenseur évaporatif (fuite, formation de legionella, tartrage) 6	Bouteille HP(Surpression) 9	Bouteille BP(Surpression) 12
	4	4	8	12	16

Les nombre d'ER distribués selon le type du risque à laquelle ils appartiennent sans prendre en considération les barrières de sécurité sont résumés sur le tableau 3.3.

Tableau 3.3. Nombre d'ER selon le type de risque

Type du risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
Risques acceptables	0	0
Risques tolérables	12	71
Risques inacceptables	5	29
Total	17	100

Les résultats montrant la répartition des ER selon le type de risque sont repris sur la figure 3.3.

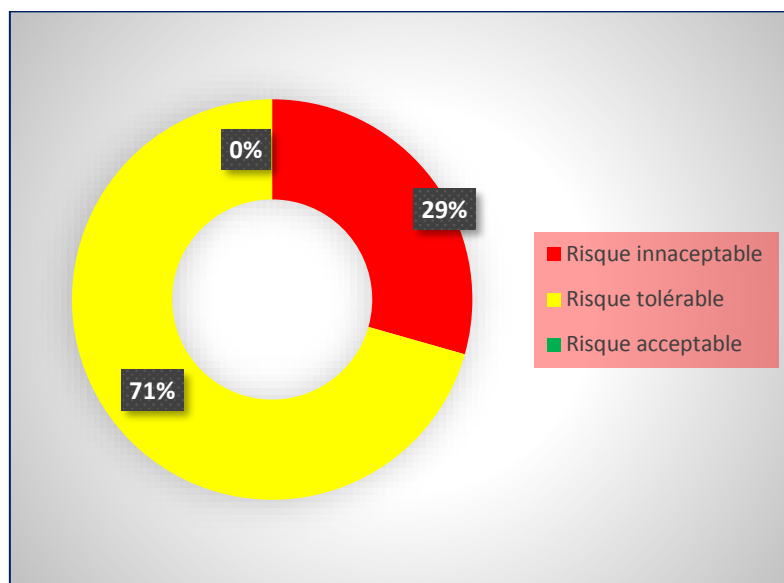


Figure 3.3. Répartition des ER selon le type de risque

Synthèse des résultats

De l'APR nous déduisons :

- Le système de refroidissement contient cinq sous-systèmes avec huit différents types d'ER.
- Le sous-système bouteille HP, bouteille BP et échangeur à plaque sont les sous-systèmes qui se situent dans la zone à risque inacceptable (29%)
- Les risques tolérables représentent 71% de la totalité des risques, alors que le risque acceptable n'existe pas.
- Cette analyse nous a permis de définir le sous-système le plus critique (Bouteille BP /HP) qui présente le plus de risque critique.

b) Avec barrières de sécurité

La matrice de criticité tenant compte des barrières de sécurité est représentée par le tableau 3.4.

Tableau 3.4. Positionnement des sous-systèmes selon la criticité

		Gravité			
		1	2	3	4
Fréquence	1	1	2	Échangeur à plaque 3	4
	2	2	Compresseur à vis, condenseur évaporatif et Bouteille HP 4	6	Bouteille BP 8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5. ER distribués selon le type de risque

Type du risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
Risques acceptables	8	0
Risques tolérables	8	71
Risques inacceptables	1	29
Total	17	100

La répartition des ER selon le type de risque est illustrée par la figure 3.4.

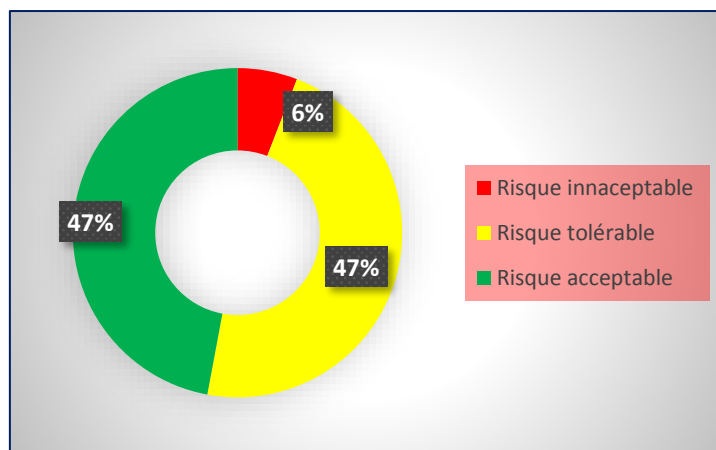


Figure 3.4. Répartition des niveaux de risque selon le type

- **Interprétation**

Après le déroulement de l'APR nous déduisons que :

- Le sous-système bouteille BP est le sous-système qui se situe dans la zone à risque inacceptable (6%)
- Les risques tolérables représentent (47%) de la totalité des risques, alors que le risque acceptable représente (47%).
- Le sous-système le plus critique (Bouteille BP) qui présente le risque le plus critique parmi d'autres sous-systèmes.
- L'identification du sous-système bouteille BP coïncide avec le besoin de l'organisation qui souhaite une exploration du système de refroidissement, la bouteille BP se trouve être un élément important du SR (voir SADT A0) de plus le REX a prouvé que le secteur de l'industrie agroalimentaire peut être touché par des accidents technologiques majeurs tels que les explosions, les incendies et des fuites polluantes. Les installations les plus concernés par les accidents majeurs sont les installations de refroidissement et selon une requête sur la base de données ARIA qui contient plus de 40 000 accidents ont été déclarés sur la période (1900 – 2013), recense 666 cas au 09/07/2013 surtout les installations faisant des transformations à base d'ammoniac.

3.2. AMDEC

3.2.1. Décomposition fonctionnelle :

Le déploiement de la méthode AMDEC s'est fait à travers un tableau qui est joint en annexe 2. Nous avons appliqué une analyse fonctionnelle classique SADT, et nous sommes arrivé à déterminer les composants formants le sous-système bouteille BP, et aussi définir leurs fonctions.

Tableau 3.6. Composants du sous-système Bouteille BP

Sous-système	Composants	Fonction
Bouteille BP	Électrovanne	Agir sur le débit de R717
	Détendeur	Abaisser la pression
	Soupapes de	Se déclencher en cas de surpression

	sécurité	
	Vannes	Isoler la bouteille BP en cas d'intervention
	Capteur	Mesure le niveau de R717 dans le réservoir
	Détecteur de gaz NH3	Surveiller et mesurer le pourcentage de R717 dans l'atmosphère
	Transmetteur	Transmettre l'information du capteur à l'électrovanne
	Indicateur P, L	Indication de pression/Niveau
	Réservoir	Stocker le R717

Dans la deuxième étape, on identifie tous les modes de défaillances possibles pour chaque composant et qui peuvent altérer son bon fonctionnement. Ensuite on recense les causes et les conséquences de la défaillance.

- Estimation du risque et calcul de criticité

Nous tenons compte à des grilles d'appréciation de probabilités d'occurrence et de la gravité pour l'évaluation de la criticité qui ont été validées par l'équipe de l'usine et l'encadrement pédagogique.

Tableau 3.7. Estimation de la probabilité

Probabilité	
Échelle	Traduction
4	Évènement très probable S'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites
3	Évènement probable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.
2	Évènement peu probable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites.
1	Évènement improbable Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.

- Échelle quantitative de probabilité d'occurrence (Fréquence)

Tableau 3.8. Echelle quantitative de gravité

Gravité	
Échelle	traduction
4	Effets critiques (irréversibles) , détérioration irréversible du composant, arrêt du système ou atteinte de la sécurité à l'extérieur du site
3	Effets critiques (réversibles) , défaillance réversible du composant arrêt du système, atteinte de la sécurité.
2	Aucun effet critique détérioration limitée au composant sans l'arrêt de système.
1	Pas d'effets significatifs sur le composant.

Tableau 3.9. Echelle quantitative de détectabilité

Détectabilité	
Échelle	Traduction
4	Indétectable
3	Détectable visuellement
2	Détectable par des appareils de mesures ponctuelles
1	Détectable par autocontrôle

De la combinaison des trois facteurs, gravité, probabilité et détectabilité ressort la matrice de hiérarchisation des risques suivante :

Tableau 3.10. Matrice de criticité

GRAVITE	4	Priorité Forte 1	Priorité Forte 1	Priorité Forte 1	Priorité Forte 1	4	DETECTABILITE
		Priorité Moyenne 2	Priorité Forte 1			3	
		Priorité Faible 3	Priorité Moyenne 2			2	
	3	Priorité Moyenne 2	Priorité Forte 1	Priorité Forte 1	4		
			Priorité Moyenne 2		3		
		Priorité Faible 3	Priorité Moyenne 2	2			
	2	Priorité Faible 3	Priorité Moyenne 2	Priorité Forte 1	4		
			Priorité Faible 3		3		
		Priorité Faible 3	Priorité Faible 3	2			
	1	Priorité Faible 3	Priorité Moyenne 2	Priorité Forte 1	4		
			Priorité Faible 3		Priorité Moyenne 2	3	

				Faible	Moyenne	2	
					Priorité Faible	3	
		1	2	3	4		
		FREQUENCE					

Note globale = Gravité x Probabilité x Détectabilité

Tableau 3.11. Evaluation globale

Évaluation globale	Priorité
Risque mineur	Faible
Risque secondaire	Moyenne
Risque majeur	Forte

- Résultats :

Le déploiement de la méthode AMDEC est formulé dans le tableau qui est joint en annexe 2.

Les résultats de cette méthode sont les suivants :

Tableau 3.12. ER selon le type de risque

Type du risque	Nombre d'ER	Pourcentage (%)
Risques acceptables	3	23
Risques tolérables	5	38
Risques inacceptables	5	38
Total	13	100

La répartition des niveaux de risque selon leur type est illustrée par la figure 3.5.

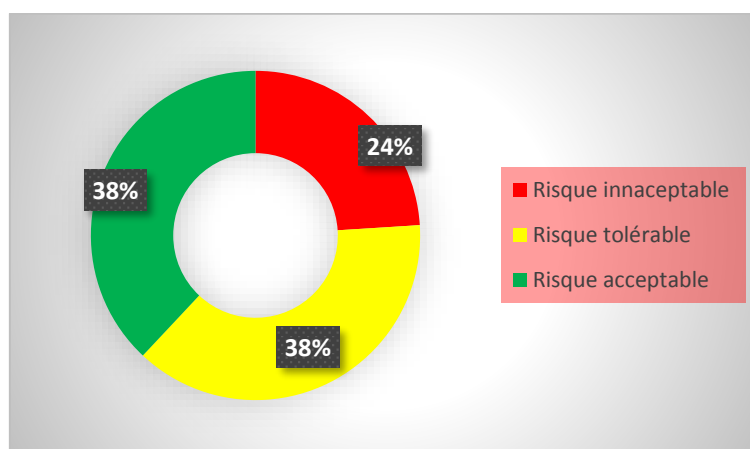


Figure 3.5. Répartition des niveaux de risque selon leur type

- **Interprétation**

Après l'élaboration de l'AMDEC nous constatons :

- Les modes de défaillances qui peuvent survenir pour chaque composant ainsi que les causes et les effets.
- L'électrovanne, réservoir et soupape de sécurité sont les éléments qui se trouvent dans la zone des risques inacceptables.
- Le système de refroidissement contient neuf composants, fait ressortir des types différents d'ER.
- Les risques tolérables et inacceptables pour chacun représentent 38% de la totalité des risques, alors que le risque acceptable 24%.
- La mise en œuvre de recommandations est nécessaire pour les risques inacceptables.

3.3. HAZOP

L'HAZOP est utilisée pour étudier les effets associés à certaines dérives, dans notre cas, nous avons pu identifier les différentes dérives qui peuvent exister, les causes et les conséquences de ces déviations sur le système Bouteille BP.

Les paramètres exploités dans notre étude sont des paramètres qu'on a sélectionnés et qui peuvent affecter le bon fonctionnement de sous-système Bouteille BP (selon SADT), tel que la pression, le niveau et la température.

- **Résultats et interprétations :**

Notre étude HAZOP (Annexe 3) nous a permis de :

- Identifier les différents paramètres (Pression, température et niveau).
- Identifier le phénomène dangereux le plus grave qui peut être survenu au niveau de notre sous-système qui est le BLEVE.
- Déterminer les différentes causes qui provoquent des conséquences importantes.
- Recenser les différentes barrières de sécurité existantes.

3.4. Arbre de défaillance (AdD)

a) Définition de l'évènement redouté

L'utilisation des méthodes d'analyse (APR, AMDEC, HAZOP) nous permet d'identifier « la surpression » comme étant l'évènement redouté qui mérite d'être retenus pour une analyse par arbre des défaillances.

b) Élaboration de l'arbre

Selon les étapes de l'élaboration de l'arbre notre point de départ était l'évènement final « Surpression ».

La mise en place des méthodes d'analyse des risques de type inductif (APR, HAZOP et AMDEC) nous a facilités grandement la recherche des défaillances pour son élaboration.

La sélection des évènements intermédiaires s'est faite pas à pas en posant la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes.

L'arbre de défaillance élaboré est illustré par la figure 3.6.

Notons que cet arbre a été réalisé par le logiciel Arbre Analyste.

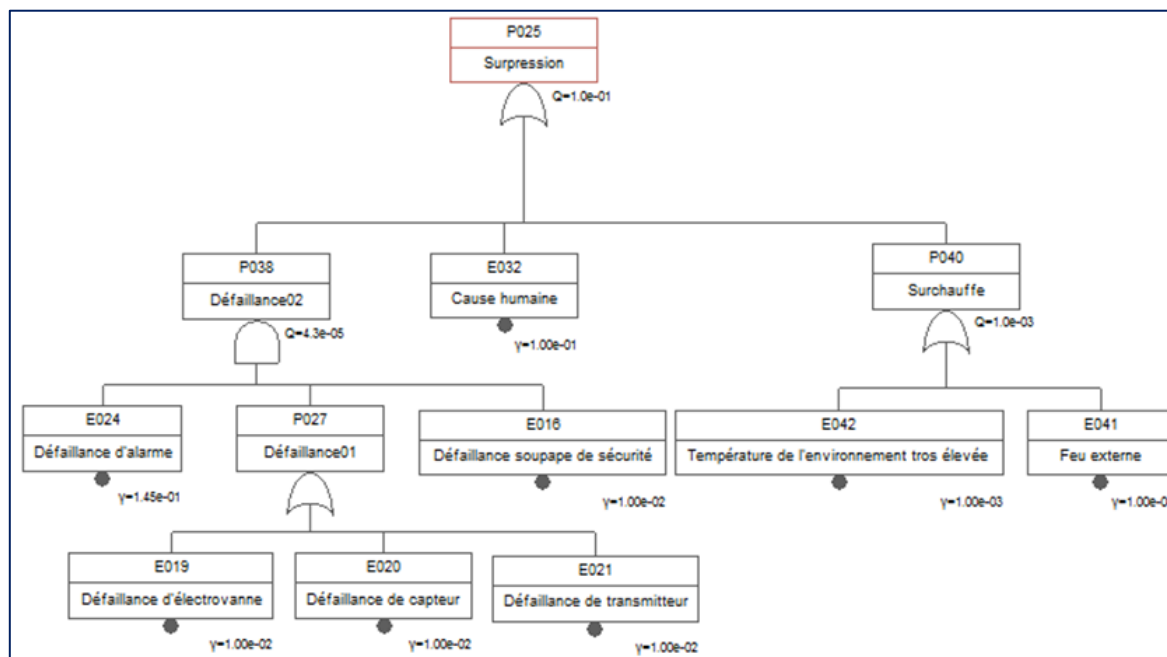


Figure 3.6. AdD pour IER Surpression

c) Évènement redouté « Surpression »

Premier niveau :

Événements de niveau inférieur pouvant générer l'évènement redouté « surpression »

- Surchauffe
- Erreur humaine
- Défaillance02 (Soupape, détecteur et défaillance01)

Second niveau :

Événements pouvant être à l'origine de la surchauffe :

- Fuite externe
- Température de l'environnement très élevée

Événements pouvant être à l'origine de la défaillance 01 :

- Défaillance de capteur
- Défaillance de transmetteur
- Défaillance de l'électrovanne

d) Coupes minimales

La recherche des coupes minimales peut s'effectuer comme suit :

$$E 01 = E 02 + (E 05 \times E 06 \times E 07) + E 03 + (E 08 + E 09)$$

$$E 01 = (E 05 \times (E 10 + E 11 + E 12) \times E 07) + E 03 + (E 08 + E 09)$$

$$E 01 = (E 05 \times E 07 \times E 10) + (E 05 \times E 07 \times E 11) + (E 05 \times E 07 \times E 12) + E 03 + E 08 + E 09$$

Les événements E03, E08 et E09 seuls ou la combinaison des événements (E05, E07, E10), (E05, E07, E11) et (E05, E07, E12) conduisent à l'évènement redouté « surpression ».

Il n'existe pas de combinaison plus petite conduisant à cet événement. Notre arbre admet donc six coupes minimales.

Finalement, cet arbre comporte :

- Trois coupes minimales d'ordre 1 : E03, E08 et E09
- Trois coupes minimales d'ordre 3 : (E05, E07, E10), (E05, E07, E11) et (E05, E07, E12).

L'arbre réduit, illustré par la figure 3.7, est obtenu à partir des probabilités des événements de base, il s'agit de remonter dans l'arbre des défaillances en appliquant les règles suivantes :

$$P(E1 \times E2) = P(E1) \times P(E2)$$

$$P(E1 + E2) = P(E1) + P(E2) - P(E1) \times P(E2)$$

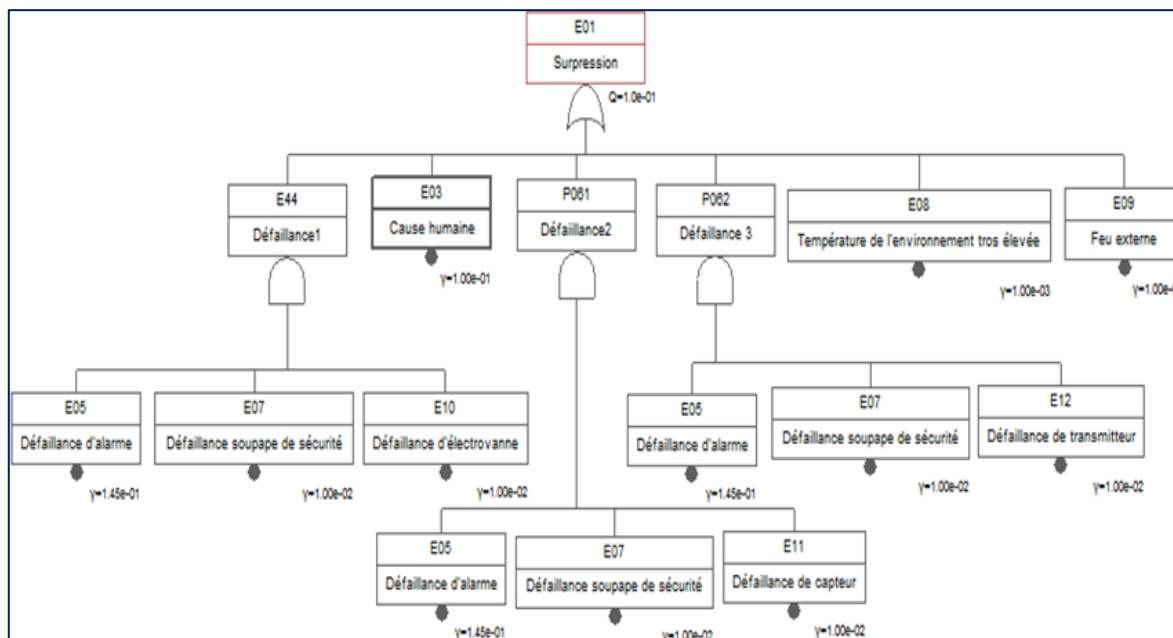


Figure 3.7. Réduction de l'AdD de l'ER suppression

Lorsque $P(E1)$ et $P(E2)$ sont faibles, on peut négliger le produit $P(E1) \times P(E2)$, nous avons alors :

$$P(E1 + E2) = P(E1) + P(E2)$$

En l'appliquant à l'arbre réduit, nous trouvons :

$$P(E01) = P((E05 \times E07 \times E10) + (E05 \times E07 \times E11) + (E05 \times E07 \times E12) + E03 + E08 + E09)$$

$$P(E01) = P(E05 \times E07 \times E10) + P(E05 \times E07 \times E11) + P(E05 \times E07 \times E12) + P(E03) + P(E08) + P(E09)$$

$$P(E01) = P(E05) \times P(E07) \times P(E10) + P(E05) \times P(E07) \times P(E11) + P(E05) \times P(E07) \times P(E12) + P(E03) + P(E08) + P(E09)$$

Les probabilités des différents événements sont présentés dans le tableau 3.8.

Tableau 3.13. probabilités des événements de l'AdD

Évènement	Probabilité
E03	0.1
E05	1.45e-005

E07	0.01
E08	0.01
E09	1e-008
E10	0.01
E11	0.01
E12	0.01

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté surpression est :

$$P(E01) = 1.0 \cdot 10^{-1}$$

Cette valeur est la même probabilité calculée à partir le logiciel (Arbre Analyste), donc on constate que la probabilité de survenance de l'évènement redouté est égale à $1.0 \cdot 10^{-1}/\text{an}$.

Remarque : les probabilités des évènements de base sont obtenues à partir : Base de données OREDA, PFE des étudiants des années passées.

La réduction de la probabilité de cet évènement final « surpression » se fait :

- En supprimant ou réduisant la probabilité d'occurrence des évènements de base
- En améliorant la fiabilité du système par l'ajout de portes « ET » entre l'évènement final et les évènements de base.

3.5. Arbre des Évènements

La réalisation de cet arbre d'évènements nous permet de déterminer la probabilité d'occurrence des différentes conséquences à partir des séquences identifiées.

La conséquence la plus critique est le phénomène dangereux « BLEVE »

- $P(\text{BLEVE1}) = 10^{-7}$
- $P(\text{BLEVE2}) = 10^{-8}$
- $P(\text{BLEVE3}) = 10^{-11}$

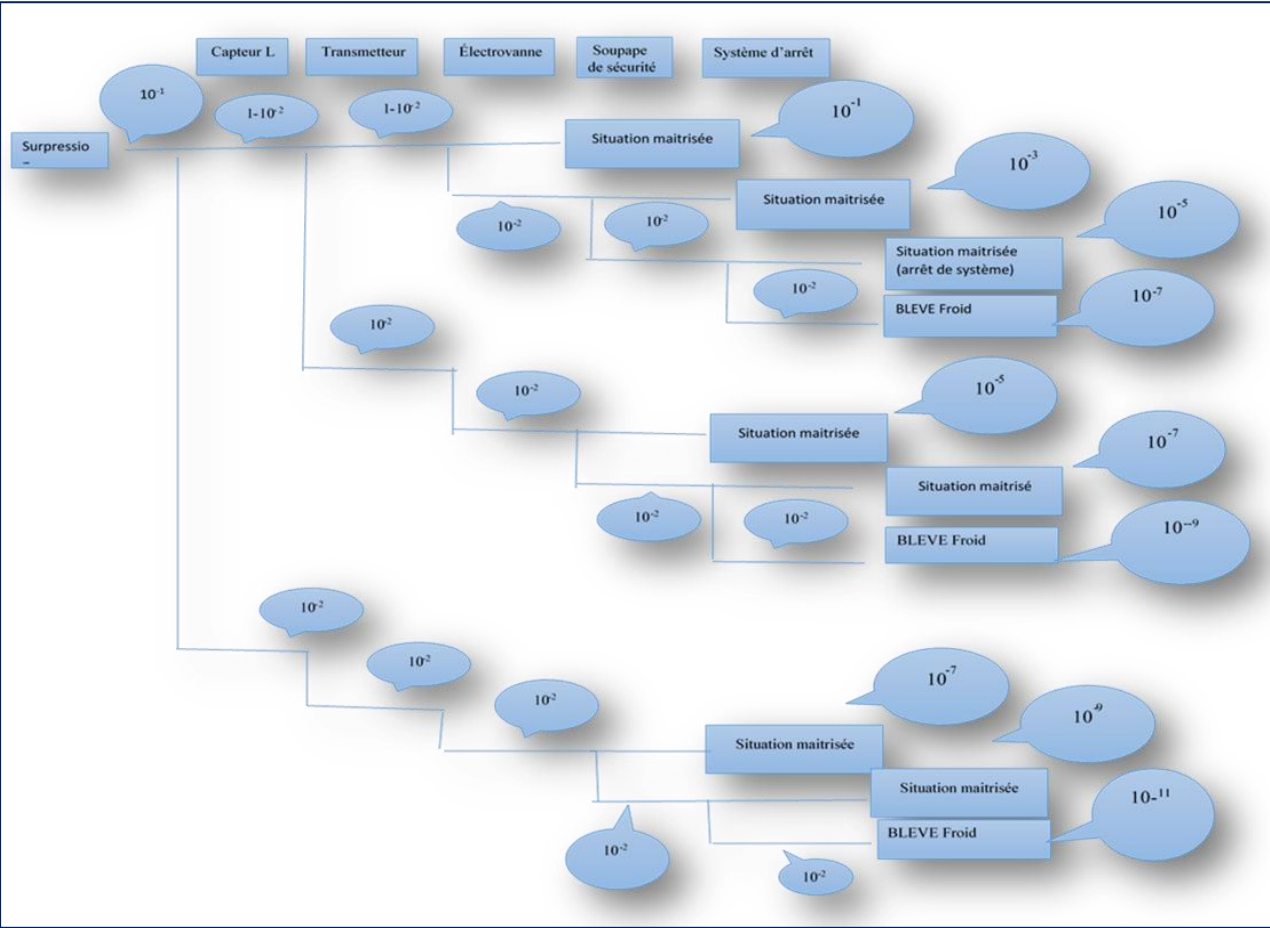


Figure 3.8. AdE de Suppression

**Chapitre 4. Simulation du
phénomène dangereux
BLEVE FROID**

Chapitre 4. Simulation du phénomène dangereux BLEVE FROID

4.1. Description du BLEVE

Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) ou explosion de vapeur en expansion par ébullition d'un liquide est le scénario d'accident majeur le plus redouté pour les réservoirs de gaz liquéfiés.

Les causes principales identifiées d'un BLEVE sont multiples. On distingue notamment :

- Fuite
- Rupture
- Suppression
- Erreur humaine
- Incendie extérieur.

Le BLEVE peut être défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.

4.2. Les causes d'un BLEVE

Les principales causes d'un BLEVE ont été identifiées, dont deux sont liées à des agressions externes :

- **Agression mécanique** : Un réservoir ayant subi une corrosion est plus faible qu'un réservoir neuf,
- **Agression thermique** : Le feu de torche, feu de nappe ou hausse de la température durant l'été peut causer un "BLEVE" si le réservoir est mal entretenu ;
- **Sur-remplissage (surpression) du réservoir**

4.3. Effets d'un BLEVE sur l'environnement

Il se manifeste généralement de trois manières :

- **Effets thermiques** : Dans le cas d'un BLEVE de gaz liquéfié inflammable, rayonnement de la boule de feu ;
- **Effets de pression** : Propagation d'une onde de surpression ;
- **Effets missiles** : Projection de fragments à des distances parfois très importantes.

4.4. Différents Types De BLEVE

4.4.1. BLEVE « Froid » :

Le BLEVE froid se produit avec un réservoir qui contient un liquide sous pression, liquide qui, s'il n'était pas sous pression, serait à l'état gazeux ; le réservoir n'est jamais complètement rempli, il y a un « ciel gazeux » qui maintient cette pression.

Le BLEVE survient lorsque le réservoir qui contient le liquide se rompt, cette rupture peut être due à un choc, à une mauvaise manipulation (sur-remplissage (surpression) du réservoir), ou à une fragilisation (corrosion, gel).

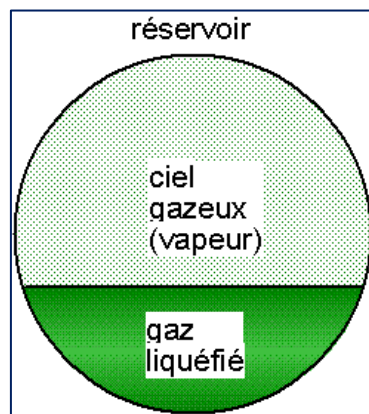


Figure 4.1. Réservoir rempli d'un gaz liquéfié avec un ciel gazeux sous pression

Donc, une fissure se crée. Au niveau de cette fissure, la pression de l'air, qui était à pression atmosphérique (environ 1 bar), passe brusquement à la pression du réservoir, il y a donc une première onde de surpression, un « bang ».

Puis, le gaz s'échappe par cette fissure, sous la forme d'un jet. La pression baisse donc rapidement dans le réservoir, le liquide se met à bouillir, non pas sous l'effet de la chaleur,

mais sous l'effet de la chute de pression (un peu comme les bulles de soda qui se forment à l'ouverture de la bouteille, bien que le phénomène soit différent).



Figure 4.2. Deux ondes de pression, par détente du ciel gazeux puis par ébullition violente

Puisque le liquide bout, il se transforme rapidement en gaz, et la pression augmente de manière très importante dans le réservoir. Par ailleurs, le jet de gaz peut entraîner des gouttelettes (aérosol), qui viennent gêner l'échappement du gaz et contribuent ainsi à la montée en pression. Cette pressurisation catastrophique provoque la propagation de la fissure puis la rupture totale du réservoir avec une deuxième onde de surpression, c'est le BLEVE.

4.4.2. BLEVE « Chaud »

Dans les cas les plus graves, la rupture du réservoir est due à un échauffement par un feu extérieur. Sous l'effet de la chaleur, le liquide dans le réservoir se met à bouillir, la pression dans le réservoir augmente ; le gaz s'échappe alors par une valve de surpression (soupape de sécurité), pouvant produire à cette occasion un jet de feu. Le niveau de liquide baisse donc dans le réservoir.

Le gaz conduisant bien moins la chaleur que le liquide, la partie de la paroi du réservoir qui se trouve au-dessus du liquide s'échauffe de manière très importante (dans la partie basse, la chaleur de la paroi est évacuée de l'autre côté par la convection du liquide). La paroi surchauffée s'affaiblit, puis finit par se rompre, provoquant l'accident. On voit que par rapport au cas précédent, c'est la soupape qui joue le rôle de la fissure initiale.

Il ne faut pas en déduire que la soupape a un rôle néfaste, bien au contraire, comme la température monte, la pression monte de toutes manières, la soupape permet de retarder l'accident et de laisser plus de temps aux secours pour évacuer et combattre le sinistre. Elle peut même empêcher l'explosion.

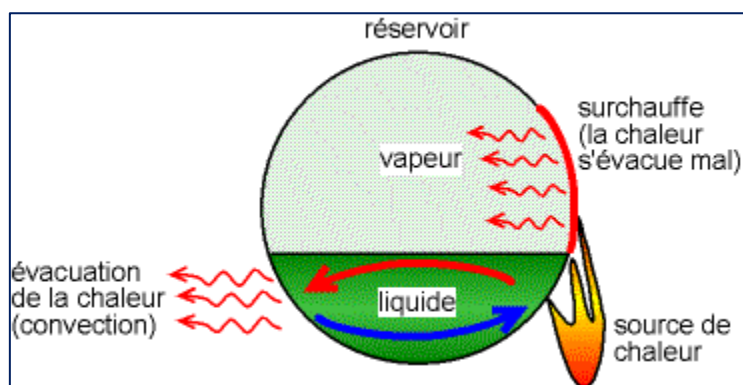


Figure 4.3. Mécanisme de surchauffe et de rupture du réservoir

Lorsque la paroi se rompt, il y a :

- Une onde de surpression, due à la libération du gaz à la rupture du réservoir ;
- Une boule de feu : si le gaz qui s'échappe est inflammable, il se mélange à l'air et peut s'enflammer instantanément sous l'effet de la chaleur ou d'une étincelle ;
- Le gaz s'échappant, il y a une diminution de pression dans le réservoir qui permet au reste du liquide de bouillir et de venir alimenter la boule de feu ; il y a donc une énorme chaleur libérée.

Notons aussi qu'avant la rupture du réservoir, il n'y a que du gaz dedans et pas d'air, il n'y a donc pas de combustion dans le réservoir ; le gaz ne brûle donc qu'après être sorti. Si le gaz n'est pas combustible, on aura juste l'onde de pression provoquée lors de la rupture du réservoir, et un jet de gaz brûlant.

Il faut donc s'attendre à des blessures dues à l'effet de souffle (blast), à des brûlures par radiation, ainsi qu'à des traumatismes associés : chute, projection d'éclats (bouts de verre, éclats métalliques, pierres), écroulement d'un mur ou d'un toit.

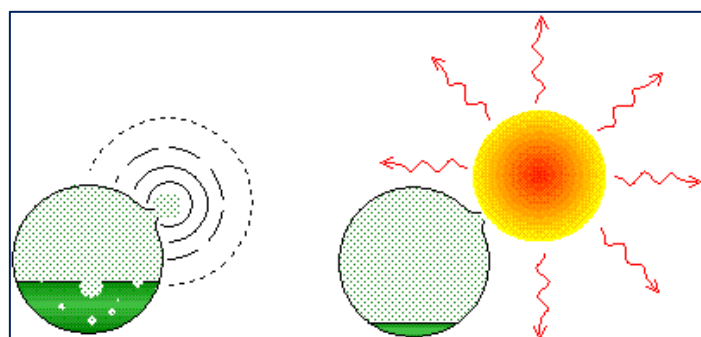


Figure 4.4. Rupture du réservoir et ondes de surpression

La notion de BLEVE froid ou chaud se réfère uniquement à la température limite de surchauffe (TLS) du produit (INERIS, 2002) :

- La transformation qui se produit en dessous de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE froid** » ;
- La transformation qui se produit au-dessus de la température limite de surchauffe à pression atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE chaud** ».

Recommandations

Nous rappelons que les causes d'apparition d'un BLEVE, sont dues essentiellement à la rupture totale d'un réservoir contenant du Gaz liquéfié (perte de confinement) due à une surpression, choc mécanique, feu extérieur.

Rappelons également que l'objectif principal de cette étude est la prévention des risques du BLEVE, visant à éviter l'occurrence d'une situation dégradée susceptible de conduire à un BLEVE.

En vue de traiter ce problème sur terrain, nous avons choisi les considérations suivantes :

- Prévenir les surpressions par la fiabilisation des instruments de mesures ; c'est à dire une pression correctement dimensionnés (détecteurs de pression haute, entraînant automatiquement la mise en sécurité des installations).
- Veiller sur la fiabilité du système de détection de gaz inflammables à travers des entretiens préventifs et des essais périodiques.
- Soumettre les travaux par point chaud à la délivrance d'un permis de feu et la mise en œuvre de toutes les précautions nécessaires.
- Interdiction de fumer dans les zones susceptibles d'être explosives.
- Fiabiliser le système d'alarme et d'alerte.
- Fiabiliser les systèmes de protection incendie (Système actif de protection thermique : rideaux d'eau, couronnes de refroidissement, des essais périodiques et des inspections).
- Assurer la formation du personnel en matière de sécurité incendie, notamment la prévention des phénomènes dangereux)
- Port des équipements de protection individuelle EPI.

4.5. Simulation des effets d'un BLEVE :

Notre bouteille est bien sous pression, ce qui en fait le siège d'un BLEVE, et tout est bien confirmé par les méthodes d'analyse APR, HAZOP, AMDEC ainsi que l'étude de danger.

Chapitre 4. Simulation du phénomène dangereux BLEVE FROID

Dans notre cas on va utiliser le programme PHAST afin de modéliser ce dévastateur phénomène.

La bouteille contenant d'ammoniac et sous les conditions suivantes :

PARAMETRE	VALEUR
TEMPÉRATURE (°C)	2
VOLUME (M ³)	2
PRESSION (BARS)	4.5
CONDITION CLIMATIQUE	Weather F/D
DISTANCE MAXIMALE(M)	100
PAS(M)	5
SURPRESSION CRITIQUE 1BAR)	0.02068
SURPRESSION CRITIQUE 2BAR)	0.2068
SURPRESSION CRITIQUE 3BAR)	0.1379

Résultats et affichage :

Ce tableau est rempli d'après des données extraites du rapport PHAST :

Tableau 4.1. Surpression en fonction de la distance

DISTANCE(M)	SURPRESSSION(BAR)	EFFET
0,00	4,500	Destruction totale des bâtiments
5,00	1,000	Destruction totale des bâtiments
10,00	0,460	Effondrement partiel des murs et des toits des maisons
15,00	0,230	Effondrement partiel des murs et des toits des maisons
20,00	0,146	Effondrement partiel des murs et des toits des maisons
25,00	0,091	Démolition partielle des maisons
30,00	0,070	Démolition partielle des maisons
35,00	0,057	Propulsion de projectiles
40,00	0,048	Propulsion de projectiles

45,00	0,041	Propulsion de projectiles
50,00	0,036	Propulsion de projectiles
55,00	0,032	Propulsion de projectiles
60,00	0,029	Propulsion de projectiles
65,00	0,026	Propulsion de projectiles
70,00	0,024	Propulsion de projectiles
75,00	0,022	Propulsion de projectiles
80,00	0,021	Propulsion de projectiles
85,00	0,019	Bris de vitre
90,00	0,018	Bris de vitre
95,00	0,017	Bris de vitre
100,00	0,016	Bris de vitre

Les zones d'effets de surpression sont présentées sur la figure suivante :

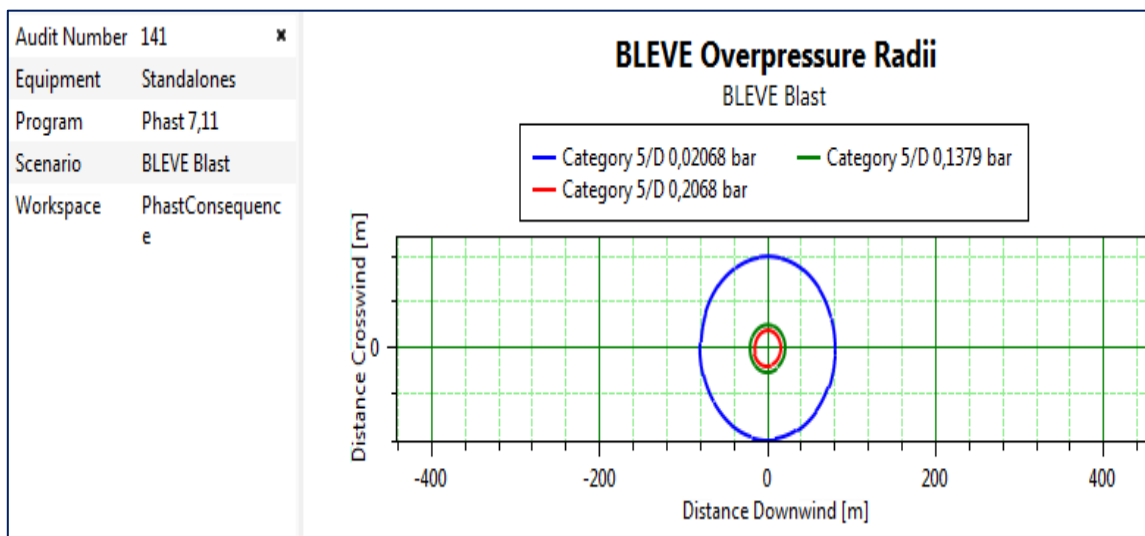


Figure 4.5. Zones d'effets de surpression

La simulation permet de tracer la surpression en fonction de la distance. (figure 4.6)

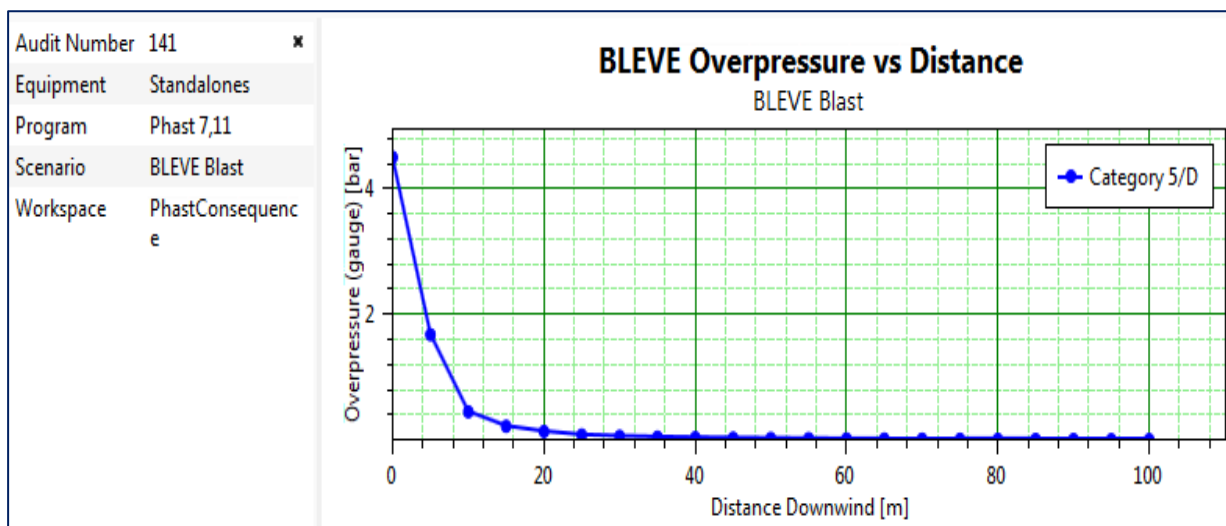


Figure 4.6. Variation de la surpression en fonction de la distance (PHAST)

Sur la carte de localisation géographique on représente les rayons des surpressions critiques pour l'explosion BLEVE de notre Bouteille BP.



Figure 4.7. Présentation des rayons de surpressions critiques sur la carte géographique

On se base sur les effets de surpression suivants pour connaître les effets de notre cas :

Pression (mbar)	Dommages provoqués
3	Bruit fort
10	Bris de vitres
20	Distance de sécurité : propulsion de projectiles possible
70	Démolition partielle des maisons
140	Effondrement partiel des murs et des toits des maisons
700-3000	Destruction totale des bâtiments

Chapitre 5. Réduction du risque et recommandations

Chapitre 5. Réduction du risque et recommandations

Les causes d'apparition d'un BLEVE, sont essentiellement la rupture totale d'un réservoir contenant du Gaz liquéfié (perte de confinement) due à une surpression anormale. L'objectif principal de cette étude est la prévention des risques du BLEVE, visant à éviter l'occurrence d'une situation dégradée susceptible de conduire à un BLEVE.

En vue de traiter ce problème sur terrain, on a proposé de mettre en place un instrument idéal pour garantir une sécurité absolue et pour gérer la pression excessive envisagé sous forme d'un disque de rupture.

5.1. Disque de rupture

Un disque de rupture est un accessoire ou un dispositif de sécurité destiné pour empêcher qu'un changement de pression soudain endommage une installation donc il est conçu pour protéger une installation contre toute pression excessive.

Le disque de rupture peut être placé :

- Seul, il permet d'évacuer la surpression afin de protéger l'installation.
- En parallèle d'une soupape de sécurité pour les défaillances importantes, il permet aussi d'évacuer la surpression afin de protéger l'installation, dans ce cas la pression d'éclatement du disque de rupture est supérieure à la pression d'ouverture de la soupape.
- En amont d'une soupape : le disque de rupture permet de protéger la soupape de sécurité des produits corrosifs.

5.2. Composition

Un disque de rupture est constitué essentiellement d'une membrane fine (feuille fine) prédécoupée de telle façon qu'il se déchire spontanément sous l'effet de la pression.

Il peut être réalisé en différents matériaux, selon les contextes d'utilisation mais il existe deux grands types : les disques de rupture en graphite et les disques de rupture métalliques.

5.3. Principe de fonctionnement

Le disque de rupture est étalonné pour éclater à une pression déterminée, donc il s'ouvre, et se fracture lorsque le niveau spécifique de la pression différentielle dépasse la résistance à laquelle le disque même est calibré, pour permettre l'évacuation de la surpression.

5.4. Critères de choix d'un disque de rupture

Un disque de rupture est un système qu'on a choisi en raison de son coût, de sa rapidité d'ouverture, de sa capacité à évacuer des débits importants et de la stabilité de sa pression d'éclatement dans le temps.

Les avantages d'utilisation de disque de rupture sont :

- Pas cher
- Très rapide à réagir en comparaison avec une soupape de sécurité.
- Nécessite une maintenance légère
- Déposable – doit être remplacé une fois la rupture effective

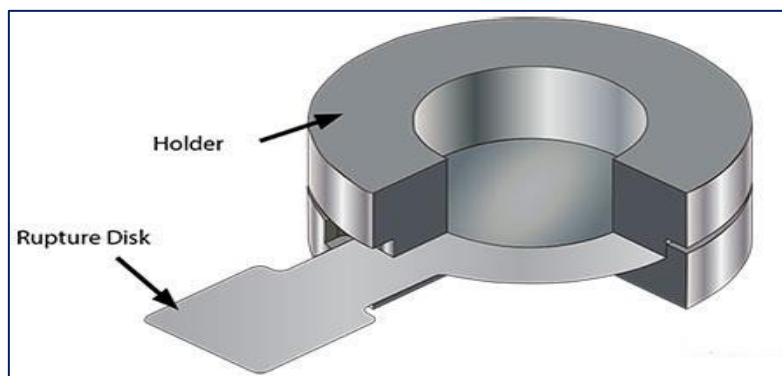


Figure 5.1. Disque de rupture entre brides

5.5. Disque de rupture proposé

Nous choisissons pour notre étude un disque de rupture inversé-type U. Ce type de disque est :

- De haute performance.
- Adapté aux variations alternatives de pression et à une température élevée.
- Sa forme concave impose l'utilisation d'une monture ; l'ensemble est ensuite monté entre brides standards.

- Recommandé en cas de températures élevées (-80°C / $+450^{\circ}\text{C}$)
- Pour une totale étanchéité



Figure 5.2. Disque inversé-type U

5.6. Applications

- Il est utilisé pour liquide (avec ciel gazeux), gaz et vapeur.
- Son taux de service maximum est : 85% à $+20^{\circ}\text{C}$.
- Il est idéal pour le monter avec une soupape de sécurité.

5.7. Construction conforme à la directive 97/23/CE

- Mono-feuille de forme concave prédécoupée et soudée entre 2 supports métalliques
- Disque non fragmentant
- Résistant au vide
- DN20 à DN250

5.8. Matériel

Dans notre cas, pour des raisons de sécurité, le disque de rupture à utiliser est l'inox. Ce dernier, ne réagira pas avec l'ammoniac.

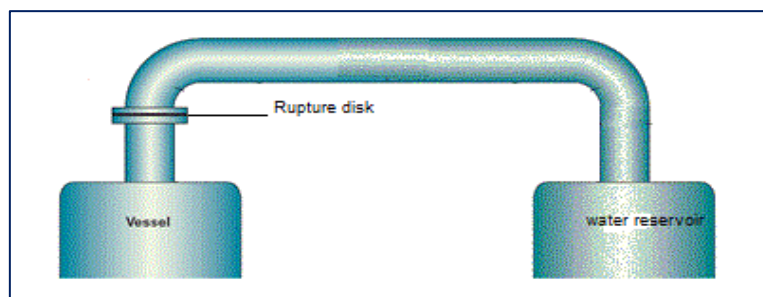


Figure 5.3. Installation d'un disque de rupture

Remarque :

- Notre disque de rupture doit être connecté à un réservoir d'eau pour éviter sa dispersion dans l'atmosphère en cas de sa rupture.
- La pression de rupture est supérieure de celle d'arrêt de toute l'installation, donc elle égale à 21 bar.
- Les dimensionnements du réservoir à eau sont les mêmes de celle de la bouteille BP.
- On peut le monter avec un détecteur de rupture entre brides et avec monture :
 - Montage dans monture.
 - Plaque de détection soudée sur le disque.
 - Détecteur inductif ATEX.

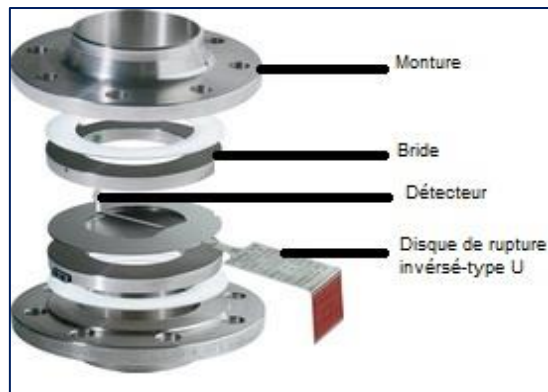


Figure 5.4. Montage avec détecteur de rupture entre brides (avec monture)

Conclusion générale

Conclusion générale

D'après le REX, le secteur de l'industrie agroalimentaire peut être touché par des accidents technologiques majeurs tels que les explosions, les incendies et des fuites polluantes. Les installations les plus concernées par les accidents majeurs sont les installations de refroidissement et selon une requête sur la base de données ARIA qui contient plus de 40 000 accidents ont été déclarés sur la période (1900 – 2013), recense 666 cas au 09/07/2013 surtout les installations faisant des transformations à base d'ammoniac.

Les résultats de l'APR nous permis de remarquer l'absence de risque acceptable et de juger que le sous-système bouteille HP, bouteille BP et échangeur à plaque sont les sous-systèmes présentent 29% des risques inacceptables. Après la prise en considération des barrières de sécurité le sous-système bouteille BP est le sous-système se situe toujours dans la zone à risque inacceptable.

Les résultats de l'AMDEC ont permis de constater que les risques tolérables et inacceptables pour chacun représentent 38% de la totalité des risques, alors que le risque acceptable 24%.

Le but ultime de la méthode HAZOP était d'identifier le phénomène dangereux le plus grave qui peut être survenu au niveau de notre sous-système, ce phénomène était le BLEVE.

L'AdD nous a permis de calculer la probabilité d'occurrences d'évènements redoutés. Les BLEVES ont des probabilités variantes selon le scénarios, petites mais ils doivent tout de même être pris en considération tenant compte de leur gravité.

Les phénomènes dangereux ont été ensuite modélisés et simulés grâce au logiciel PHAST. Ce dernier nous a permis de tracer la surpression en fonction de la distance et de tracer les zones d'effets de surpression.

Les conséquences sont très néfastes et nécessitent la mise en œuvre de mesures sécuritaires pouvant maîtriser les risques. Afin de maîtriser la survenue du BLEVE froid, nous avons proposé une installation d'un disque de rupture relié à un réservoir d'eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Bernuchon, E., & Salvi, O. (2003). *Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, version 1.*

Boubaker, L., Djebara, M., & Gondran, N. (2008). Vers une combinaison ACV/AMDEC en vue de l'analyse environnementale d'une cimenterie algérienne. *Déchets-Sciences et Techniques* 52.

BSI British Standards. (2007). *Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail.* London.

Cassini, P., Raffoux, J. F., & Tauaziède, C. (2007). *l'héritage de Courrières : de la sécurité minière à la sécurité industrielle.* France: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Centre historique minier du Nord-Pas-deCalais.

CEI 60812. (2006). *Technique d'analyse de la fiabilité du système - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE).* Switzerland, International Electrotechnical Commission.

D.Akila. (2014, 4 22). Industrie agroalimentaire : Un fort potentiel à valoriser. *Elmoujahid*, 06.

Ennminej, Y. (Avr 2015). *Rapport de stage de fin d'étude "Maintenance".* Morocco.

GRABKOWSKI, R. (2006). Produits de confiserie. *Techniques de l'ingénieur, Réf : F8030 VI.*

INERIS. (2002). *le BLEVE phénoménologie et modélisation des effets thermiques.* France: LERETTE.

INERIS. (s.d.). *OMEGA 7 -Méthodes danalyse des risques générés par une installation industrielle.* France.

La rédaction. (2011, juillet 28). *Techniques de l'ingénieur.* Récupéré sur techniques-ingenieur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/diaporama-les-catastrophes-industrielles-qui-ont-eveille-les-consciencs-6266/>

Références bibliographiques

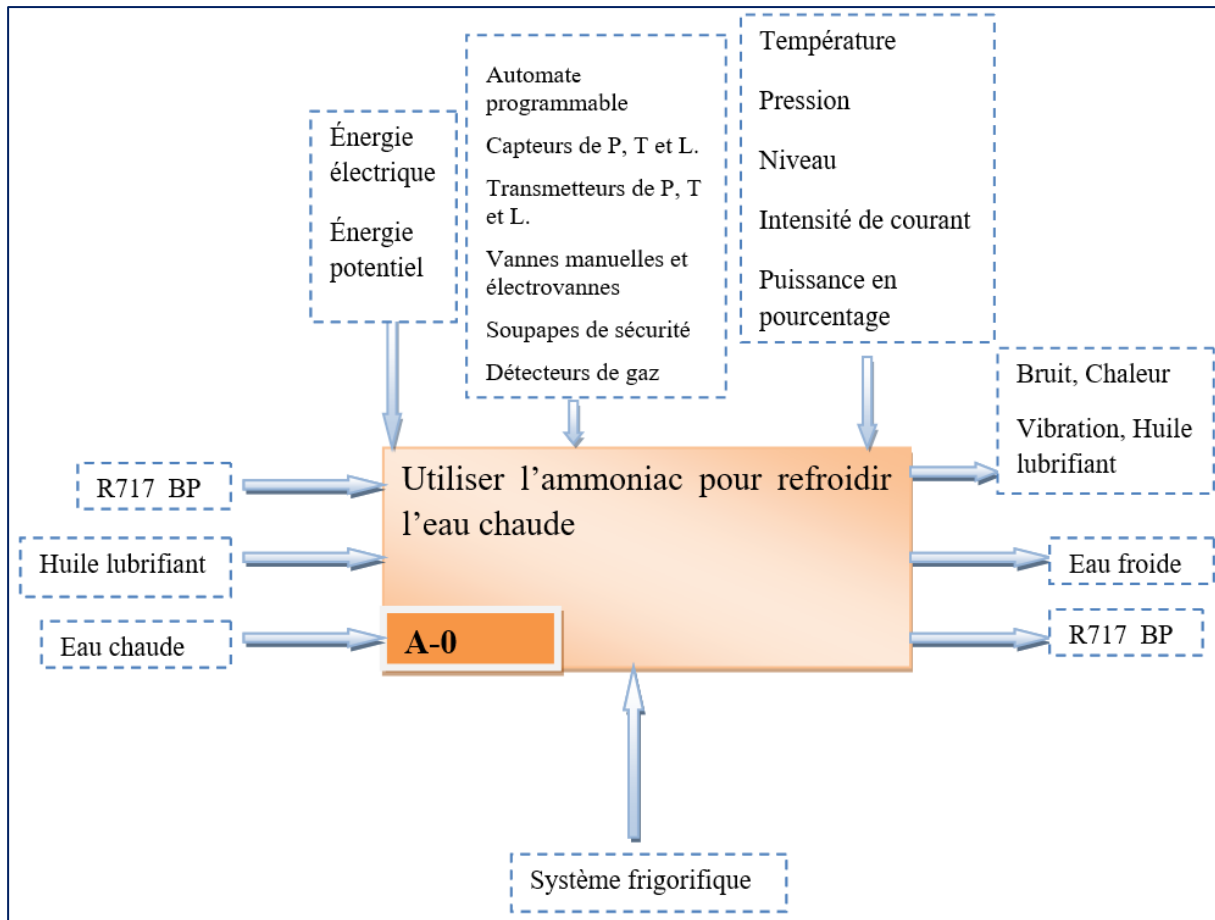
Magne, L. (2010). *Histoire sémantique du risque et de ses corrélats : suivre le fil d'Ariane étymologique et historique d'un mot clé du management contemporain*. Paris, France: 15e Journée d'histoire de la comptabilité et du management.

MORTUREUX, Y. (2005). AMDE(C). *Réf. SE4040, Techniques de l'ingénieur, 23*.

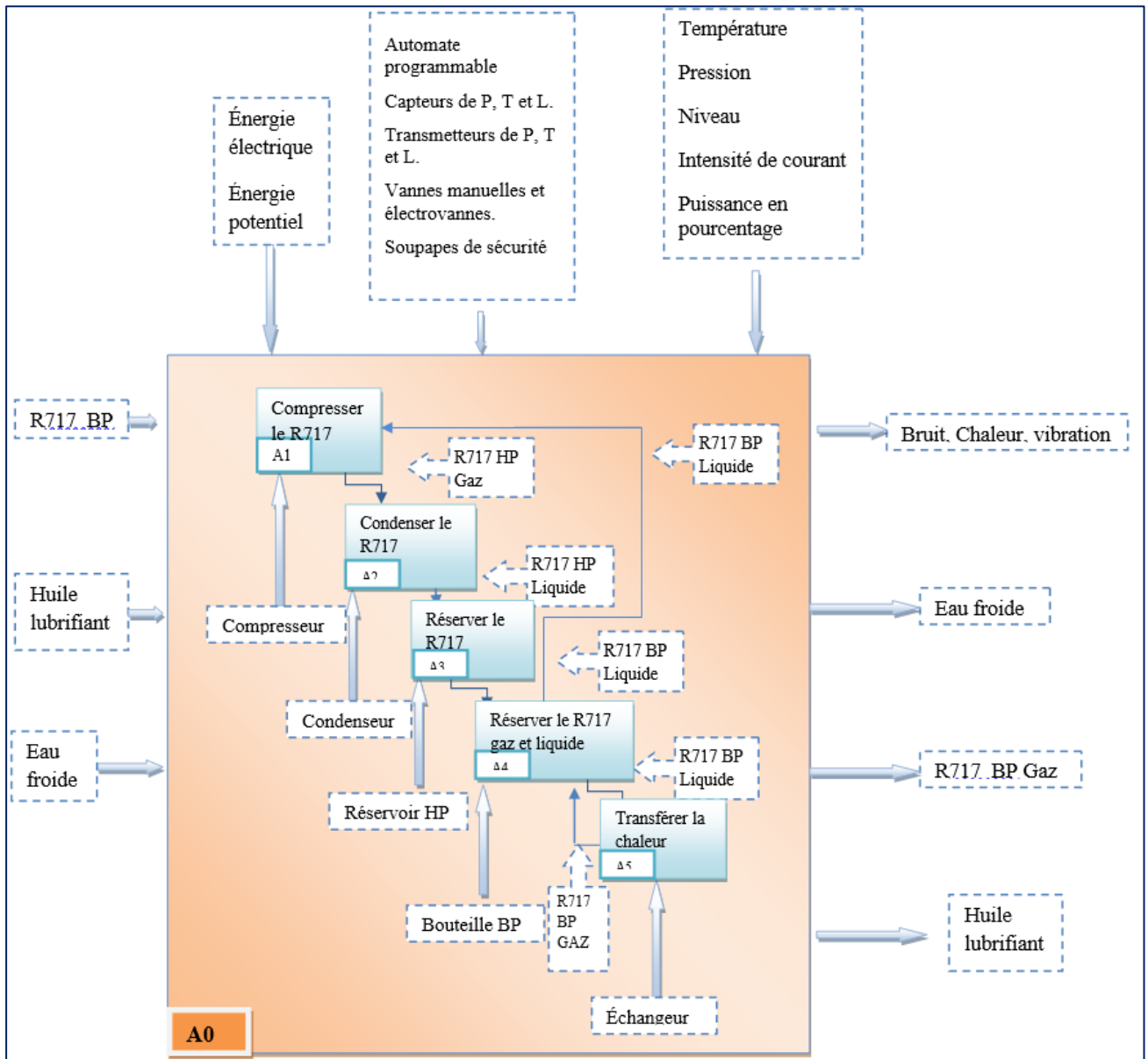
Mortureux, Y. (2005). Méthodes d'analyse des risques. *Techniques de l'ingénieur, réf se4010*.

Annexes

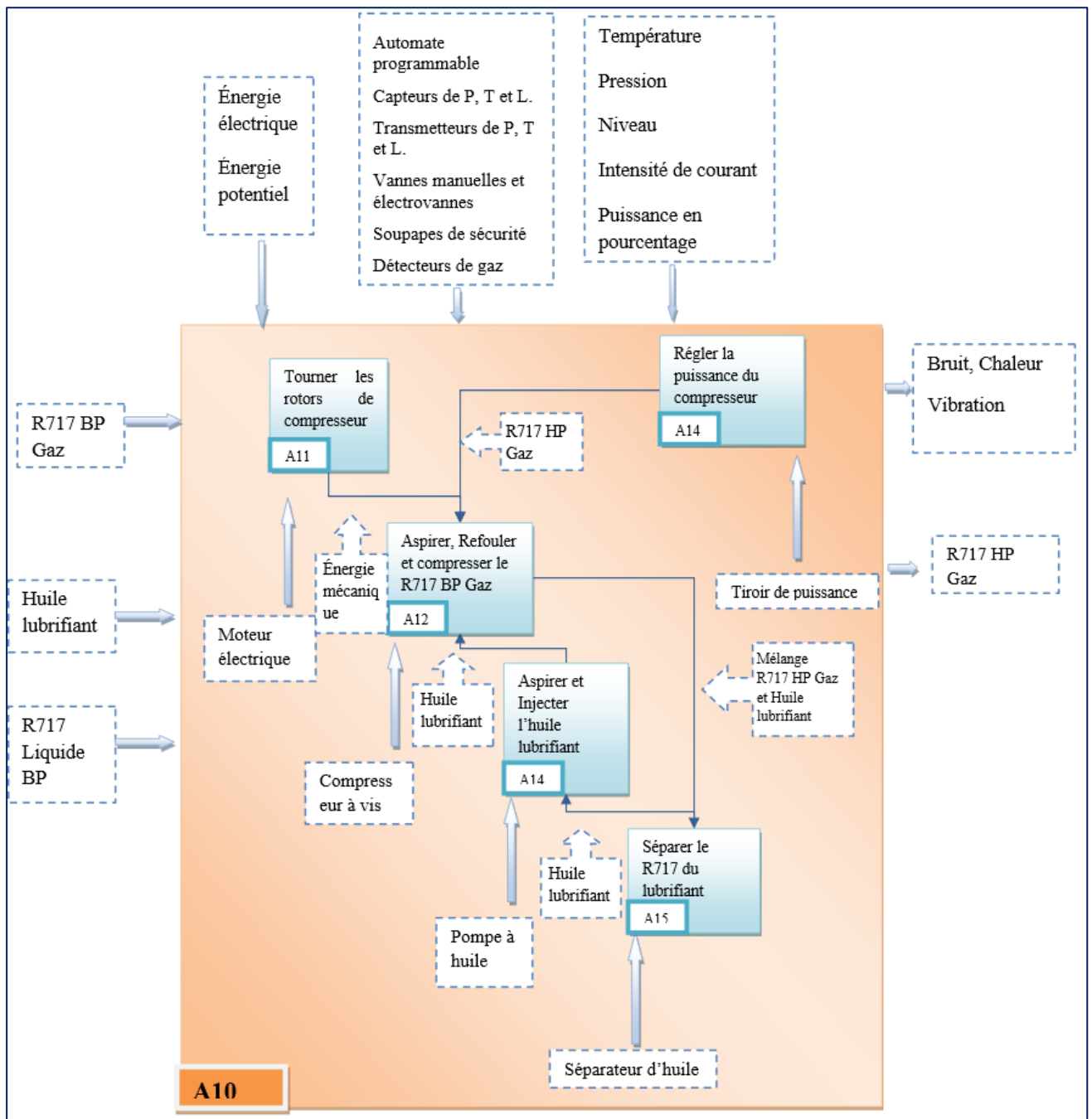
Annexe 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



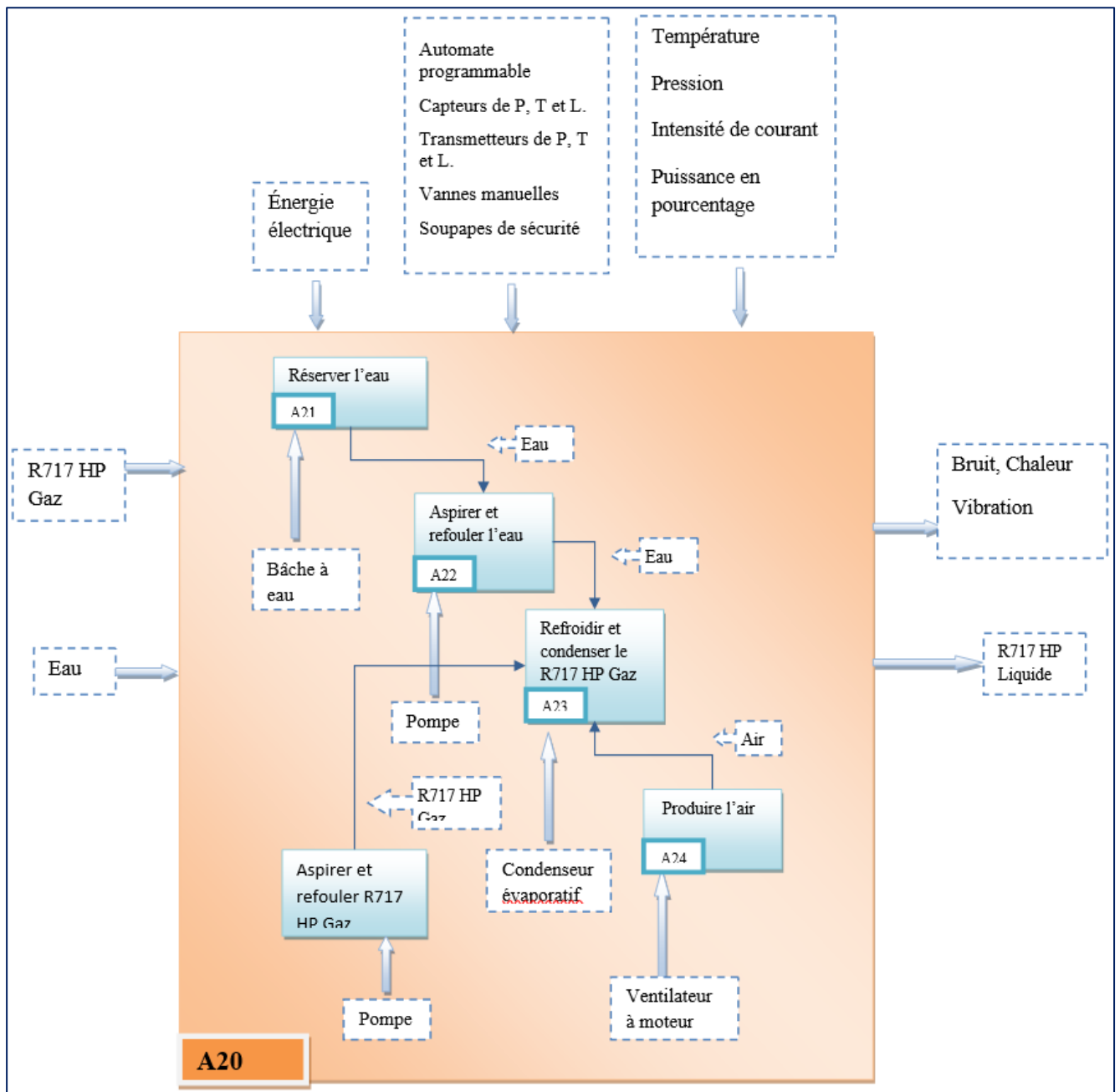
Annexes 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



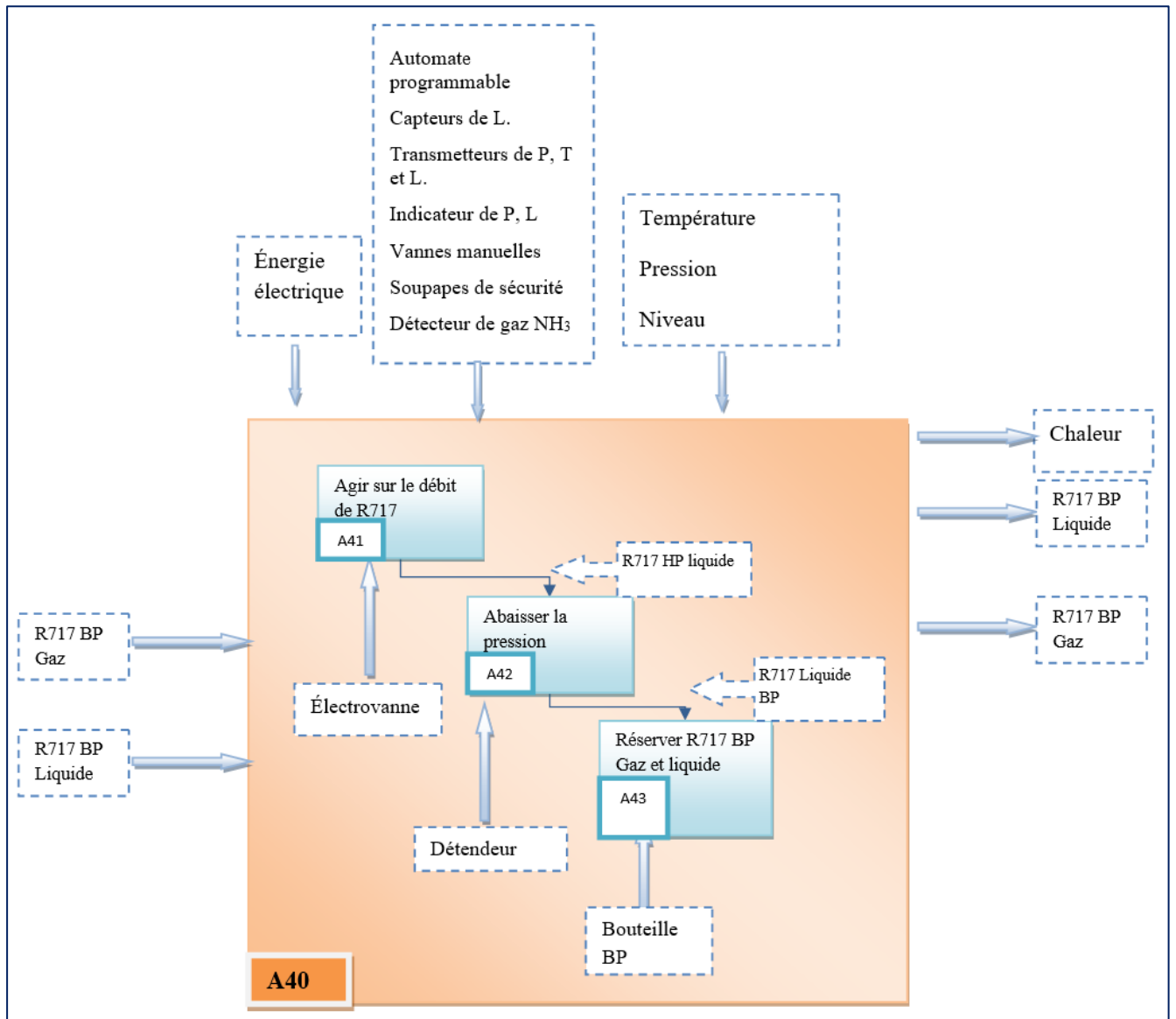
Annexes 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



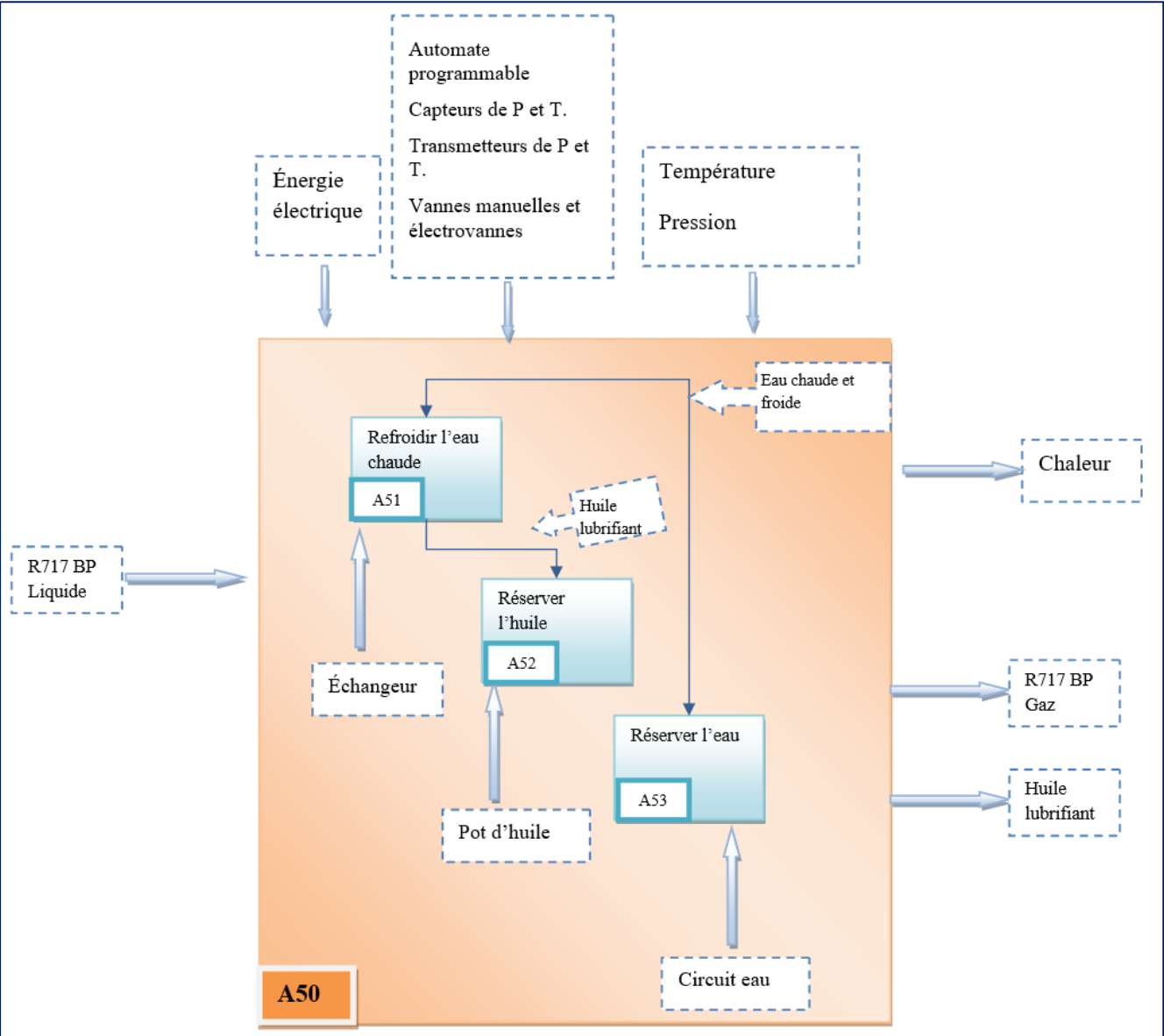
Annexes 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



Annexes 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



Annexes 1. Diagrammes SADT du système de refroidissement



Annexe 2. Analyse Préliminaire des Risques

Systeme	Évènements redoutés	Causes	Conséquences	P	G	C	Mesures de prévention	P'	Mesures de protection	G'	C'
Compresseur à Vis	Surpression	<p>Soupapes défectueuses(bouché à l'entrée ou à la sortie ou être corrodée ou bloquée à l'état fermée)</p> <p>Clapet anti-retour (coté refoulement)est cassé</p> <p>Erreur d'opérateur</p> <p>Défaillance de système de régulation automatique (Transmetteur de pression défectueux et capteur de pression pressostat défaillant Tiroir de puissance bloqué Surchauffe</p>	<p>Explosion mécanique (déflagration)</p> <p>Rupture d'équipement</p> <p>Fuite d'huile</p> <p>Fuite de R717</p>	2	2	4	<p>Programme des inspections sur les compresseurs(Plan de maintenance)</p> <p>Les soupapes de surpression doivent être inspectées périodiquement et remplacées tous les cinq ans.</p> <p>Personnel sensibilisé et informé</p> <p>Consigne de sécurité</p> <p>Système de détection</p>	1	<p>Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires, les douches déluge et l'éclairage de sécurité, Systèmes de régulation et d'alarmes</p>	2	2
	surchauffe (moteur+com presseur)	<p>Manque d'huile</p> <p>Court circuit électrique</p> <p>Température ambiante trop élevée</p> <p>Défaillance de système de régulation automatique</p> <p>Circuit d'huile obstrué(distributeur défectueux)</p> <p>Surpression</p> <p>Resistanse de chauffage d'huile deféctueuse</p>	<p>Explosion</p> <p>Ruptures</p> <p>Incendie</p>	2	2	4	<p>Programme des inspections sur les compresseurs</p> <p>Soupapes de sécurité inspectées et remplacées périodiquement.</p> <p>Personnel sensibilisé et informé</p> <p>Consigne de sécurité</p> <p>Système de détection</p>	1	<p>Systèmes de régulation et d'alarmes</p> <p>Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires, les douches déluge et l'éclairage de sécurité,</p>	2	2

Annexe 2. APR

	Court circuit	Les isolants dans le moteur sont dégradés à force d'être exposés à la chaleur ou due au vieillissement	Surintensité et un grand échauffement Défaillance du moteur Electerisation ou électrocution	3	2	6	Programme des inspections sur les compresseurs(Plan de maintenance)	2	Protection par fusibles ou protection par disjoncteur	2	4
	Vibration anormale	Défaillance de l'accouplement moteur-compresseur(mauvais alignement) Desserrement Vibrations de la tuyauteries ou de certaines parties du compresseur	Ruptures et usures Dégradation des conditions de travail Bruit	2	2	4	Programme des inspections sur les compresseurs(Plan de maintenance) Vérifier les pièces s'ils sont resserer conformément aux couples de serrage prescritse La mesure des vibrations	2	Resserer les pièces conformément aux couples de serrage prescritse	1	2
	Fuite d'Ammoniac	Corrosion Défaut de soudure Fuite au niveau de l'hybride Bris d'une soupape Ouverture inopinée d'une vanne d'isolation, clapet...	Asphéxie Incendie Explosion	2	3	6	Programme des inspections Le contrôle des fuites . Les soupapes de surpression doivent être inspectées périodiquement et périodiquement Informé tout le personnel des procédures d'urgence et des mesures d'évacuation.	1	Les moyens de détection des fuites et un système d'alarme. Les mesures de protection respiratoire En cas de fuite majeure, le port d'une combinaison imperméable à l'ammoniac.	3	3
Condenseur évaporatif	Surpression	Soupapes défectueuses Clapet anti-retour cassé Erreur d'opérateur Défaillance de système de régulation automatique Surchauffe Défaillance d'une pompe de circulation d'eau .	Fuite det R717 Rupture de canalisation	2	2	4	Programme des inspections sur le condenseur(Plan de maintenance) Les soupapes de sécurité inspectées et remplacées périodiquement. Informé tout le personnel sur les procédures d'urgence et des mesures d'évacuation,	1	Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires, les douches déluge , Systèmes de régulation et d'alarmes .	2	2

Annexe 2. APR

	Vibration anormale	Desserrement Vibrations aux niveaux des ventilateurs	Ruptures et usures Dégradation des conditions de travail Bruit	2	2	4	Contrôle général du condenseur pour déceler toute vibration anormale.	1	La tuyauterie raccordée par des manchons souples afin d'éviter la transmission des vibrations de condenseur Condenseur évaporatif monté sur des rails ou des ressorts anti-vibrations	1	1
	Bruit anormale	Machines tournantes (ventilateurs,moteurs) sont mal équilibrées , Le bruit de la pompe à eau	Ruptures et usures Dégradation des conditions de travail	2	2	4	Contrôle général du condenseur pour déceler tout bruit anormal.	2		2	4
	Fuite de R717	Corrosion Défaut de soudure Fuite au niveau de l'hybride Bris d'une soupape Ouverture inopinée d'une vanne d'isolation,	Asphéxie Incendie Explosion	3	2	6	Inspecter la continuité du revêtement . Programme des inspections. Les soupapes de ssécurité doivent être inspectées périodiquement et remplacées d'une façon periodique. Tout le personne doit être informé des procédures d'urgence et des mesures d'évacuation en cas d'accident.	2		2	4
	Formation de legionella	La température de l'eau y est très favorable (30 à 50°C) pour une pollution bactériologique	Maladie respiratoire, la légionellose.	3	2	6	La mise en oeuvre de méthodes planifiées et systématiques de gestion de la qualité de l'eau et de maintenance du système	2	Une désinfection chimique avec de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel)y sera régulièrement réalisée. Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires	2	4

Annexe 2. APR

	Formation de tartre	Impuretés présentés dans les vapeurs d'eaux	Pertes de rendement	3	2	6	Régulièrement détartre l'intérieur du condenseur évaporatif pour éviter que ne diminuent les qualités d'échange de chaleur. Traitement d'eau	2		2	4
Bouteille HP	Surpression	Soupapes de sécurité défectueuses Bouteille à eau liée aux soupapes est pleine et saturée(eau saturée) Erreur opératinnel Défaillance de système de régulation automatique Surchauffe	BLEVE chaud /froid Fuites et pertes de confinement	3	3	9	Programme des inspections. Les soupapes de ssécurité inspectées et remplacées d'une façon periodique. Tout le personnel est informé sur les procédures d'urgence et des mesures d'évacuation en cas d'accident.	2	Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires'en cas d'une petite fuite) et l'éclairage de sécurité, Systèmes de régulation et d'alarmes	2	4
	Fuite d'Ammoniac	Corrosion Défaut de sudure Fuite au niveau de l'hybride Ouverture inopinée d'une vanne d'isolation, clapet.	Asphéxie Incendie Explosion	3	3	9	Programme des inspections. Les soupapes de sécurité inspectées et remplacées d'une façon periodique. Tout le personnel est informé sur les procédures d'urgence et des mesures d'évacuation en cas d'accident.	2	Les équipements de sécurité, tel que les masques respiratoire et l'éclairage de sécurité, Systèmes de régulation et d'alarmes	2	4
Bouteille BP	Surpression	Soupapes de sécurité défectueuses Erreur d'opérateur Défaillance de système de régulation automatique (électrovanne) Surchauffe	Fuites et pertes de confinement BLEVE chaud/froid	3	4	12	Programme des inspections. Les soupapes de ssécurité doivent être inspectées périodiquement et remplacées d'une façon periodique. Tout le personne doit être informé des procédures d'urgence et des mesures d'évacuation en cas d'accident.	2	Le matériel de sécurité, tel que les masques respiratoires'en cas d'une petite fuite) et l'éclairage de sécurité, Systèmes de régulation et d'alarmes	4	8

Annexe 2. APR

	Fuite d'Ammoniac	Corrosion Défaut de soudure Fuite au niveau de l'hybride Ouverture inopinée d'une vanne d'isolation, clapet...	Asphéxie Incendie Explosion	3	3	9	Programme des inspections. Les soupapes de sécurité doivent être inspectées périodiquement et remplacées d'une façon périodique. Tout le personnel doit être informé des procédures d'urgence et des mesures d'évacuation en cas d'accident.	2	Les équipements de sécurité, tel que les masques respiratoire et l'éclairage de sécurité, Systèmes de régulation (Une électrovanne de coupure asservie aux capteurs de niveau) et d'alarmes	2	4
Echangeur à plaque	Fuite d'ammoniac et/ou eau glycolée	Corrosion Fissure des plaques Défaut de soudure Choc thermique	Contamination d'eau glycolée Asphéxie Incendie Explosion	2	4	8	//	1	//	3	3
	Encrassement	Boue causée par des suspensions insolubles, Rouille causée par la corrosion Entartrage	Augmentation des pertes énergétiques, Diminution de coefficient de transfert thermique.	2	2	4	Nettoyage des parois par un traitement chimique (détartrage) ou un procédé mécanique (brossage). Surveillance et mesure de débit	1		2	2

Annexe 3. Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

	Composants	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	P	G	D	C	Actions correctives
Bouteille BP	Electrovanne	Agir sur le débit de R717	Ne s'ouvre pas	Défaut interne électrique Blocage mécanique Défaut d'alimentation électrique Défaut au niveau des capteurs ou/et transmetteur de niveau.	Pas d'alimentation Moins de niveau dans la bouteille BP	3	1	1	3	Control régulier Maintenance préventive
			Ne se ferme pas	Défaut interne électrique ou usure Blocage mécanique Défaut d'alimentation électrique Défaut au niveau des capteurs ou/et transmetteur de niveau.	Plus de niveau dans la bouteille BP Surpression dans la bouteille Bp	3	4	1	12	Control régulier Maintenance préventive
	Détendeur	Abaisser la pression	Détendeur trop fermé	Défaillance structurelle Blocage physique ou coincement Défaillance en position fermée	Faible rendement Très faible pression Moins de niveau dans la bouteille BP	3	1	1	3	Control régulier Maintenance préventive
			Détendeur trop ouvert	Défaillance structurelle(usure) Blocage physique ou coincement Défaillance en position ouverte	Plus de niveau dans la bouteille BP Surpression dans la bouteille Bp	2	4	1	8	Control régulier Maintenance préventive

Annexes 3. AMDEC

		Bouchage	Accumulation des impuretés	Faible rendement Très faible pression Moins de niveau dans la bouteille BP	3	1	1	3	Nettoyage périodique Maintenance préventive
Soupapes de sécurité	Se déclencher en cas de surpression	Ne s'ouvre pas	Défaillance mécanique interne	Surpression	3	2	3	12	Control régulier Maintenance préventive
Vannes	Isoler la bouteille BP en cas d'intervention	Fuite interne/externe	Usure Défaut joint	Perte de confinement Asphéxie Incendie Explosion	3	3	1	9	Control régulier Maintenance préventive
Capteur	Mesure le niveau de R717 dans le réservoir	Mesure erronée	Défaillance structurelle(usure)	Mauvaise transmission de l'information =>Moins ou Plus de niveau	2	3	1	6	Control régulier Maintenance préventive
		Ne fonctionne pas	Défaillance structurelle(usure)	Non transmission de l'information=>Moins ou Plus de niveau	3	3	1	9	Control régulier Maintenance préventive
Détecteur de gaz NH3	Surveiller et mesurer le pourcentage de R717 dans l'atmosphère	Ne fonctionne pas au moment prévu	Défaillance interne	Non déclenchement du système d'alarme	2	2	4	16	Control régulier Maintenance préventive
Transmetteur	Transmettre l'information du capteur à l'électrovanne	Ne fonctionne pas au moment prévu	Défaillance interne	Mauvaise transmission de l'information =>Moins ou Plus de niveau	3	3	1	9	Control régulier Maintenance préventive
Indicateur P,L	Indication de pression/Niveau	Indication erronée	Défaillance de l'indicateur	Mauvaise indication=>Plus ou Moins de niveau de R717	2	2	2	8	Control régulier Maintenance préventive

Annexes 3. AMDEC

	Reservoir	Stocker le R717	Perte de fonction de stockage	Erosion Corrosion Fissure Défaut de soudure	Asphéxie Incendie Explosion	4	4	1	16	Control régulier Maintenance préventive
--	-----------	-----------------	-------------------------------	--	-----------------------------------	---	---	---	-----------	--

Annexe 4. HAZOP

Équipement: Bouteille BP						
Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection et mesures de sécurité	Propositions d'amélioration	Observation
Moin de	Niveau	Défaillance de détecteur de niveau Mauvaise connection entre le détecteur de niveau et l'électrovanne de régulation Défaillance de l'électrovanne(bloquée ou fermée) Fuite suite à une corrosion ou un choc ou mauvaise soudure Épandage d'ammoniac suite à une vanne ouverte	Un problème d'alimentation des deux échangeurs(mauvais rendement de transfert de chaleur) BLEVE froid du à un choc Feux de torche	Détecteur de gaz Indicateur de niveau LSH.01 (le cas de sa non défaillance) Pressostat PT.01 Alarme de sécurité Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs .	Un plan de maintenance en exigeant son respect Moyens d'extinction(dioxyde de carbone, eau pulvérisée ou mousse)	
Plus de		Défaillance de détecteur de niveau Mauvaise connection entre le détecteur de niveau et l'électrovanne de régulation . Défaillance de l'électrovanne(tros ouverte et bloquée,débit d'aspiration tros élevée) Pas de ou débit de refoulement très petit.	Surpression->Rupture de reservoir->BLEVE froid Surpression +Feu externe->BLEVE chaud Dégradation de la bouteille BP due à la pression élevée appliquer sur ses parois.	Détecteur de gaz Indicateur de niveau LI.01 (le cas de sa non défaillance) Pressostat PT.01 Alarme de sécurité Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs .	Un plan de maintenance en exigeant son respect Moyens d'extinction(dioxyde de carbone, eau pulvérisée ou mousse)	

Annexes 4. HAZOP

Moin de		Température de l'environnement trop bas . Défaillance des capteurs	Choc thermique et dégradation de la bouteille Givrage des vannes . Geler de l'eau dans les échangeurs à plaques	Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs . Calorifuge	Un plan de maintenance et surveillance en exigeant son respect . Implanter des Indicateurs de température	
Plus de	Température	Température de l'environnement trop élevée Défaillance des capteurs Surpression Feu externe Eau des échangeurs à température trop élevée.	Choc thermique et dégradation de la bouteille } surpression->BLEVE froid. Surchauffer l'eau dans les échangeurs à plaques. Surpression +Feu externe ->BLEVE chaud	Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs . Détecteur de gaz	Un plan de maintenance et surveillance en exigeant son respect . Implanter des Indicateurs de température	
Moin de	Pression	Défaillance des soupapes de sécurité (ouverte et bloquée) Défaillance de l'électrovanne (fermée et/ou partiellement ouverte et bloquée) Vanne de détente défaillante Fuite suite à une corrosion ou un choc (conduite ou/et bouteille) Vanne d'isolement fermée	Un problème d'alimentation des deux échangeurs(mauvais rendement de transfert de chaleur) BLEVE froid du à un choc Feux de torche	Détecteur de gaz Indicateur de niveau LSH.01 (le cas de sa non défaillance) Pressostat PT.01 Alarme de sécurité Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs .	Un plan de maintenance en exigeant son respect Moyens d'extinction.	

Annexes 4. HAZOP

Plus de		<p>Défaillance des soupapes de sécurité Défaillance de l'électrovanne (ouverte et bloquée) Vanne de détente défailante Vanne de refoulement fermée Compresseur ne s'arrête pas</p>	<p>Surpression->Rupture de réservoir->BLEVE froid Surpression +Feu externe->BLEVE chaud Dégradation de la bouteille BP due à la surpression.</p>	<p>Détecteur de gaz Indicateur de niveau LSH.01 (le cas de sa non défailance) Pressostat PT.01 Indicateur de pression PI.01 Alarme de sécurité Un bouton poussoir arrêt d'urgence . Modules logiciels surveillants le bon fonctionnement des capteurs .</p>	<p>Un plan de maintenance en exigeant son respect</p>	
---------	--	---	--	--	--	--