



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

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

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière :Hygiène sécurité industrielle

Spécialité :Prévention et intervention

Thème

**Analyse des risque du réacteur au niveau de
l'unité d'ammoniac par la méthode Amdec**

Présenté et soutenu publiquement par :

Belarbi Hakim

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Adjeloua Abdelaziz	MAA	Université d'Oran2 /IMSI	Président
Talbi Zahera	MCB	Université d'Oran2 /IMSI	Encadreur
Nadji Mohamed Amine	MAA	Université d'Oran2 /IMSI	Examineur

Année 2021/2022

Remerciement

Je remercie tout d'abord le dieu le tout puissant qui nous éclaire le bon chemin.

Toutes mes gratitude et mes

sincères Remerciement vont

particulièrement à :

*Mon encadreur : monsieur **MME. TALBI ZAHERA** qui a suivi en permanencel'évolution de ce travail. Pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils.*

*Messieurs les membres de jury **Nadji Mohamed Amin** et **Adjloua Abdaziz**, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire, et lui apporter leurs critiques.*

*Tout les enseignants de la département de sécurité industrielle et environnement de **IMSI d'Oran**.*

*Nous tenons également à remercier monsieur **Ghalem Mansour** Ingénieur Sécurité Industrielle chez **SORFERT Ammoniac Industriel Complexe d'Arzew***

Je tiens enfin ,à remercier tous ceux qui ont participés de ce modeste travail .



DIDICACE

Je dédie cet humble travail,

À ma petite famille qui m'a toujours motivé et motivé dans ma vie et m'a fourni une éducation décente, leur amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui;

En particulier, mon père, mon premier soutien dans la vie, je t'offre ma gratitude pour ton amour éternel et pour l'effort que tu as fait pour moi, c'est peut-être le plus beau cadeau que je puisse te faire.

A ma mère, source d'amour et de tendresse, elle ne m'a pas privé de ses conseils dès mon plus jeune âge et ne m'a privé de rien.

Enfin, je remercie mes frères qui m'ont toujours soutenu durant mes études, et je vous adresse mes remerciements à travers ce travail

B.HAKIM



Résumé

Le processus de fabrication de l'ammoniac est confronté de temps à autre à des problèmes qui entravent son travail et réduisent sa fiabilité, provoquant des accidents pour l'opérateur et même pour les travailleurs.

Ce travail est consacré sur l'étude des dysfonctionnements qui peuvent nuire aux réacteurs chimiques de synthèse de l'ammoniac au sein de l'entreprise SORFERT. Ainsi, nous avons appliqué la méthode de l'AMDEC sur les différents éléments du réacteur étudié, qui a permis de comprendre les causes profondes de certains accidents dans le système de réacteur de fabrication d'ammoniac, puis de trouver les solutions appropriées (plan d'action) afin d'éviter les catastrophes.

Enfin, nous suggérons des solutions qui peuvent aider à réduire les risques qui peuvent conduire à des scénarios indésirables

Mots clés :

Modes de défaillances, AMDEC , réacteur.

الملخص:

تواجه عملية تصنيع الأمونيا مشاكل من وقت لآخر مما يعيق عملها ويقلل من موثوقيتها ، مما يتسبب في وقوع حوادث للمشغل وحتى للعمال.

هذا العمل مخصص لدراسة الأعطال التي يمكن أن تضر بالمفاعلات الكيميائية لتخليق الأمونيا داخل شركة SORFERT.

وهكذا قمنا بتطبيق طريقة FMEA على العناصر المختلفة للمفاعل المدروس ، مما جعل من الممكن فهم الأسباب الجذرية لحوادث معينة في نظام مفاعل إنتاج الأمونيا ، ثم إيجاد الحلول المناسبة (خطة العمل) من أجل تجنب الكوارث.. أخيرًا ، نقترح حلولاً يمكن أن تساعد في تقليل المخاطر التي يمكن أن تؤدي إلى سيناريوهات غير مرغوب فيه

الكلمات الرئيسية : المفاعل , AMDEC , Modes de défaillances,

Abstract

The ammonia manufacturing process faces problems from time to time which hamper its work and reduce its reliability, causing accidents for the operator and even for the workers.

This work is devoted to the study of the malfunctions that can harm the chemical reactors for the synthesis of ammonia within the SORFERT company. Thus, we applied the FMECA method to the various elements of the studied reactor, which made it possible to understand the root causes of certain accidents in the ammonia production reactor system, then to find the appropriate solutions (plan of action) in order to avoid disasters.

Finally, we suggest solutions that can help reduce risks that can lead to unwanted scenarios.

sommaire

N°	Titre	Page
	Liste des figures	01
	Liste des tableaux	02
	Introduction générale	03
Chapitre I : Chapitre I Présentation du complexe		
I.1	présentation complexe	08
I.2	Fiche technique du complexe	08
I.3	Situation géographique du complexe	09
I.4	Les matières premières et les produits finis	09
I.5	Les installations du Complexe	10
I.6	Les principales zone du complexe	11
I.6.1	Description du train d'ammoniac	11
I.6.2	Description du train d'urée	12
I.6.3	Description des utilités	12
I.6.3.1	Les chaudières autonomes	12
I.6.3.2	La production d'énergie électrique	13
I.6.3.3	Système d'azote	13
I.6.3.4	Circuit de refroidissement à l'eau de mer	13
I.6.3.5	Circuit de refroidissement en boucle fermée	13
I.6.3.6	Unité de dessalement	14
I.6.3.7	Unité de demineralization	14
I.6.3.8	Réseau d'eau anti-incendie	14
I.6.3.9	Prise d'eau de mer	14
I.6.4	Stockage et chargement	15
Chapitre II : Les réacteurs chimiques		
II.1	Introduction	17
II.2	Les réacteurs chimiques	17
II.3	Caractéristiques principales d'un réacteur chimique	18

II.4	Classification des réacteurs	19
II.4.1	Selon la nature des phases en présence	20
II.4.2	Selon le mode de fonctionnement	20
II.4.3	Selon le degré de mélange des substances en réaction	22
II.4.4	Selon la mise en contact des phases	24
II.5	Types des réacteurs	25
II.5.1	Réacteurs monophasique (homogène)	25
II.5.2	Réacteurs à deux phases (hétérogènes)	28
II.6	Choix d'un réacteur	32
Chapitre III : Présentation de l'AMDEC		
III.1	Introduction	34
III.2	Les définitions de base	34
III.2.1	Historique de la méthode AMDEC	35
III.2.2	But de l'AMDEC	35
III.2.3	Types d'AMDEC et définitions	36
III.2.3.1	AMDEC Produit	36
III.2.3.2	AMDEC Procédé (process)	37
III.2.3.3	AMDEC Moyen de production	38
III.2.3.4	L'AMDEC montage	38
III.2.3.5	L'AMDEC contrôle	38
III.2.3.6	L'AMDEC sécurité	38
III.3	Méthodologie d'AMDEC	39
III.3.1	Le groupe de travail	40
III.3.2	L'analyse fonctionnelle	40
III.3.3	L'étude qualitative des défaillances	40
III.3.4	L'étude quantitative	44
III.3.5	La hiérarchisation	48

III.3.6	La recherche des actions préventives/correctives	47
III.3.7	Le suivi des actions prises et la réévaluation de criticité	48
III.3.8	La présentation des resultants	48
IV	Autres méthodes d'analyse de défaillance	48
IV.1	Diagramme causes-effet ou Ishikawa	48
IV.1.1	Définition	48
IV.1.2	But	49
IV.1.3	Principe	49
IV.2	La méthode qqoqcp	50
IV.2.1	Définition	50
IV.2.2	But	50
IV.2.3	Principe	50
IV.3	l'arbre de défaillance	51
IV.3.1	Définition	51
IV.3.2	But	51
IV.3.3	Principe	52
IV.4	Graphe de Pareto ou Méthode ABC	53
IV.4.1	Définition	53
IV.4.2	But	53
IV.4.3	Principe (comment utilisé le diagramme de Pareto)	53
IV.5	Conclusion	55
Chapitre IV : Application de l'AMDEC		
V.1	Introduction	57
V.2	Initialisation de l'étude	57
V.2.1	Description de l'équipement à étudier	57
V.2.1.1	le convertisseur d'ammoniac (108R001 et 108R002)	57
V.2.2	Description du Réacteur 108R001	58
V.2.3	Décomposition fonctionnelle	59

V.2.4	L'analyse fonctionnelle	61
V.2.5	L'analyse structurelle	62
V.2.6	Synthèse	66
V.2.7	L'hierarchisation	67
V.3	Conclusion	68
Conclusion générale		70
Bibliographie		71

Liste des figures

N°	Figures	Intitulés	Pages
Chapitre I : Chapitre I Présentation du complexe			
01	Figure I-1	plan générale du complexe d'ammoniac SORFERT	07
02	Figure I-2	Situation géographique du complexe SORFERT	09
03	Figure I-3	Les Principales zones du complexe	11
Chapitre II : Les réacteurs chimiques			
04	Figure II -1	Facteurs gouvernant le fonctionnement d'un réacteur chimique	18
05	Figure II -2	Opération discontinue : différentes phases	21
06	Figure II -3	Opération semi-continue ,différentes phases	22
07	Figure II -4	Ecoulement de type piston (réacteur tubulaire idéal)	23
08	Figure II -5	écoulement à travers un récipient parfaitement agité(Réacteur à cuve parfaitement agité)	24
09	Figure II -6	Réacteurs monophasiques discontinus	26
10	Figure II -7	Réacteur tubulaire continu	27
11	Figure II -8	Réacteur parfaitement agité	28
12	Figure II -9	Réacteur gaz-liquide	29
13	Figure II -10	Réacteur gaz-liquide du type laveur de gaz	29
14	Figure II -11	Réacteur à lit fixe	30
15	Figure II -12	Réacteur à lit fluidisé	31
Chapitre III : Présentation de l'AMDEC			
16	Figure III-1	AMDEC Procédé	37
17	Figure III-2	La démarche AMDEC	39
18	Figure IV-1	Diagramme Ishikawa	50
19	Figure IV-2	arbre de d défaillance	53
20	Figure IV-3	Graphe de Pareto	54

Chapitre V: Application de l'AMDEC			
21	Figure V-1	Schéma d'installation du réacteur 108R001/108R002	59
22	Figure V-2	Structure des deux convertisseurs	60

Liste des tableaux

N	Tableau	Intitulés	Page
Chapitre I : Présentation du complexe			
1	Tableau I-1	Fiche technique du complexe	08
Chapitre III : Présentation de L' AMDEC			
2	Tableau III-1	Les quatre questions de base de l'AMDEC	34
3	Tableau III-2	Grille de cotation de la fréquence sur 4 niveaux	45
4	Tableau III-3	Grille de cotation de la gravité sur 5 niveaux	46
5	Tableau III-4	Grille de cotation de la probabilité de non détection sur 4 niveaux	47
6	Tableau IV-1	tableau de symbole	52
Chapitre IV : application de L' AMDEC			
7	Tableau IV-1	Tableau d'application de la méthode AMDEC	63

Introduction général

Alors que l'industrie chimique constitue un des piliers incontestables de l'économie mondiale, elle doit faire face depuis quelques années à une image peu flatteuse d'industrie dangereuse et polluante. Les accidents comme ceux survenus à Bhopal, Seveso et Flixborough ont démontré à quel point les incidents causés par ce type d'industrie pouvaient être impressionnants et destructeurs.

Face à ces événements, il est apparu nécessaire de se reposer la question du risque chimique en remettant en cause les pratiques industrielles et en identifiant de nouveaux enjeux technologiques.

De nombreux accidents industriels ont été provoqués par des réactions dont la mise en œuvre n'a pas été contrôlée : emballement thermique, réaction secondaire non contrôlée... Les conséquences de tels accidents sont souvent importantes dans la mesure où une réaction chimique non désirée ou non contrôlée est susceptible, suivant les réactifs mis en œuvre, de donner matière à la fois à une explosion et à l'émission de produits toxiques ou inflammables dans l'environnement. Parmi les causes identifiées relatives au développement de réactions non contrôlées dans l'industrie, les raisons principales sont imputables à un défaut de conception ou de fonctionnement des installations et des procédés de fabrication.

Le complexe industriel d'ammoniac SORFERT est l'un des plus importants complexes dans la réalisation industrielle de la chaîne de traitement des hydrocarbures.

Dans le cadre d'un partenariat entre la société égyptienne ORASCOM for Construction and Industries Et la société algérienne Sonatrach a été créée le 10 juin 2007 en vertu de la loi 51/49 exploité par Sonatrach en Algérie. SORFERT est conçu pour assurer Transport de l'ammoniac liquide et urée granulée.

Ce complexe utilise de nombreux réacteurs basiques pour fabriquer de l'ammoniac, qui à son tour présente de nombreux risques, Il faut donc réfléchir et prendre Conscience des conséquences, afin de contrôler les événements inattendus.

L'objectif de ce mémoire est d'identifier et de traiter les causes potentielles de défauts et de défaillances des réacteurs chimiques avant qu'elles ne surviennent. Le mémoire est réparti en quatre chapitre :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation du complexe industriel d'ammoniac SORFERT d'arzew.
- Le deuxième chapitre aborde en détail les concepts de base liés aux réacteurs chimiques ainsi que leurs types
- Le troisième chapitre présente la méthode d'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leurs criticité « AMDEC » appliquée aux réacteurs chimiques.
- Le Quatrième chapitre est consacré à l'application de la méthode AMDEC sur le réacteur chimique de notre étude, et des recommandations pour réduire la criticité sont

Introduction général

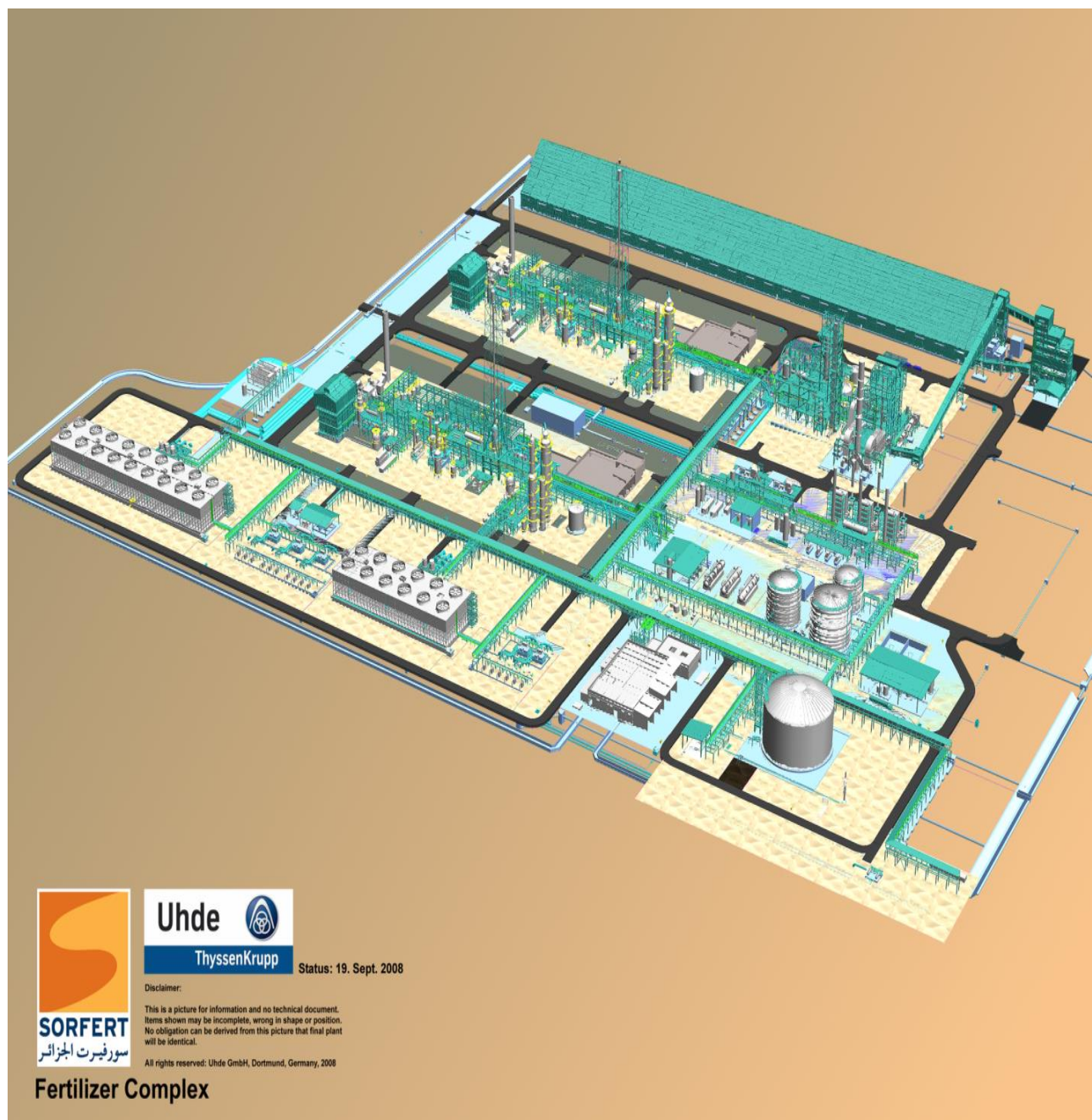
compilées dans la dernière partie

- Le mémoire se termine par une conclusion générale qui rappelle le sujet traité et les principaux résultats obtenus.

Chapitre I

Présentation du complexe





I-1: plan générale du complexe d'ammoniac sorfert

I.1 . Présentation du complexe :

Le complexe industriel d'ammoniac **SORFERT** est, parmi les plus importantes réalisations industrielles de la chaîne de transformation des hydrocarbures, cette usine fait partie d'un partenariat entre l'entreprise égyptienne **ORASCOM construction et industries** et l'entreprise algérienne **SONATRACH** établie le 10 juin 2007, sous la loi 51/49 exploitée par la société **SONATRACH** en Algérie. Il a été conçu pour assurer le transport, d'ammoniac sous forme liquide et de l'urée granulée.

I.2 . Fiche technique du complexe :**Tableau I-1:** Fiche technique du complexe.

Localisation	Zone industrielle d'Arzew
Superficie	37 hectares
Partenaires	ORASCOM Construction et industrie 51%
	SONATRACH 49%
Date de création	10 JUIN 2007
Date de début de production	Décembre 2011
Alimentation en gaz naturel	RTO (Région Transport Ouest)
Procédé	Thyssen Krupp UHDE
Capacité de production	Ammoniac 2200Tonnes/ jour
	Urée 3450 Tonnes/ jour
Température de chargement du produit	-33 °C

I.3 . Situation géographique du complexe :

Le complexe **SORFERT** est situé dans la zone industrielle d'Arzew à l'Ouest de Bethioua, à 6 Km de la ville d'Arzew, 40 Km à l'Est d'Oran, il couvre une superficie de 37 hectares et se compose notamment de plusieurs zones



Figure I-2: Situation géographique du complexe SORFERT

I.4. Les matières premières et les produits finis :

✚ Les matières premières nécessaires au complexe des fertilisants de SORFERT sont:

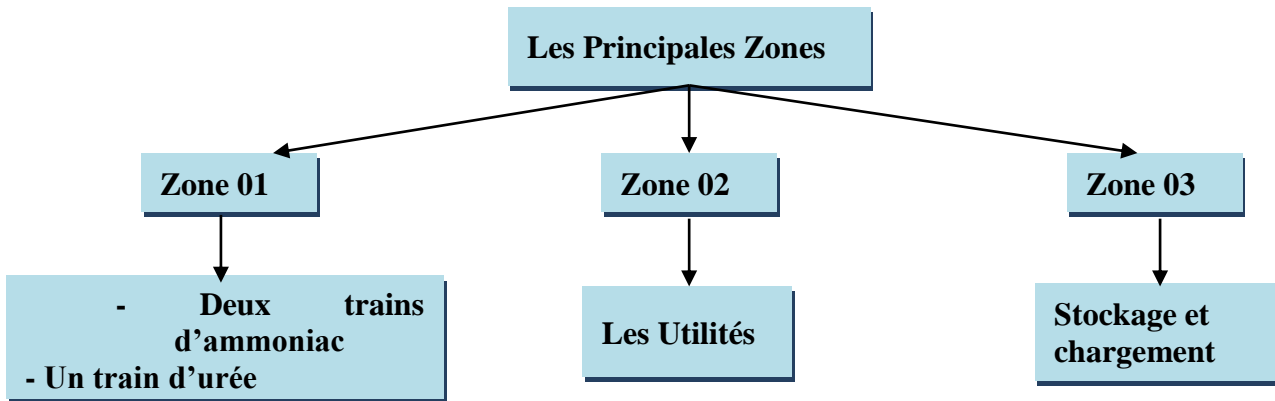
- Le Gaz Naturel provenant du RTO.
- L'Oxygène et l'Azote (Nitrogène) de l'Air atmosphérique.
- Le Dioxyde de Carbone (CO₂) de l'Unité d'extraction du CO₂.
- La Vapeur d'Eau générée par la récupération de chaleur et produite aux niveaux des Chaudières Autonomes.

✚ Les produits finis du Complexe des Fertilisants de SORFERT sont :

- L'Ammoniac (NH_3) stockée à l'état liquide au site et au port.
- L'Urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) granulée stockée au site et expédiée par camion au port.

I.5. Les installations du Complexe :**✚ Les installations de SORFERT se composent de :**

- Deux unités de production d'ammoniac de capacité de 2 200 tonnes/jour pour chacune,
- Une unité de production de 3 450 tonnes/jour d'urée en granulés,
- Une usine de dessalement d'eau de mer,
- Des installations électriques,
- Un réservoir d'eau d'une capacité de 6000m^3 ,
- Un bac de stockage d'urée,
- Deux réservoirs de stockages d'ammoniac d'une capacité de 30 000 tonnes à proximité du port,
- Un corridor technique comprenant :
- Une conduite d'amenée d'eau de mer,
- Un pipeline de transfert de l'ammoniac,
- Une conduite de retour d'eau de mer,
- Une ligne en fibre optique pour le transport de l'information,
- Des câbles pour le transport de l'énergie électrique.

I.6. Les principales zones du complexe :**Figure I-3: Les Principales zones du complexe****I.6.1 Description du train d'ammoniac :**

SORFERT possède deux trains d'ammoniac identiques, produisant de l'ammoniac selon le procédé « UHDE ».

La molécule d'ammoniac est produite à partir de l'azote et l'hydrogène, qui sont provenants de l'air et du gaz naturel. Passant par plusieurs étapes.

Le gaz naturel est traité par une élimination du mercure, hélium et le soufre, puis entre dans un four de reforming primaire après avoir été mélangé avec la vapeur d'eau, en formant un gaz qui contient une teneur en hydrogène de 68% et le reste constitué de la vapeur.

d'eau, de CO₂, CO, CH₄ et N₂, un reforming secondaire qui est nécessaire pour la transformation du méthane provenant du reforming primaire, le monoxyde de carbone est transformé en dioxyde de carbone qui serait absorbé par le solvant, puis le gaz serait dirigé vers le méthanateur où tous les oxydes de carbone sont transformés en méthane, le gaz méthanisé est comprimé et refroidi puis envoyé vers le système de synthèse où le gaz de synthèse est produit dans un réacteur de synthèse puis dirigé vers le stockage.

I.6.2 Description du train d'urée :

Les réactifs (NH_3 et CO_2), purifiés pour éliminer l'oxyde de carbone (CO) et l'humidité, sont comprimés séparément, puis introduits dans le réacteur. La formation du carbamate y est très rapide, le réacteur fonctionne adiabaticquement et on doit exercer un contrôle sévère de la température à cause de la corrosion importante par les solutions de carbamate d'ammoniaque au-dessus de 200°C .

L'effluent du réacteur, constituant en urée, carbamate d'ammoniaque et des réactifs non convertis, est soumis par modification des conditions opératoires à une décomposition qui transforme une partie de carbamate d'ammoniaque en gaz carbonique et ammoniaque, l'ensemble de cette opération est répété afin de décomposer la totalité de carbamate, on obtient alors une solution d'urée qui par un traitement de finition est amenée à la pureté finale que l'on désire.

L'urée ainsi obtenue est granulée au sein d'une section de granulation puis dirigée vers un hangar d'urée en vrac et après transportée par des camions vers le port d'Arzew.

I.6.3 Description des utilités :

Les utilités sont des services de support au procédé. Elles sont créées pour produire et manipuler les produits finis du complexe, comme elles sont nécessaires pour supporter l'outil de production.

Les utilités se composent des unités suivantes :

I.6.3.1 Les chaudières autonomes :

Les générateurs de vapeurs de l'unité produisent de vapeur haute pression surchauffée à 116 bars.

Afin de couvrir les besoins en vapeur des unités de production en fonctionnement normal ainsi qu'au démarrage, les trois chaudières autonomes sont installées pour générer de la vapeur HP alimentant les turbines à vapeur entraînant les générateurs et sont raccordées au circuit de vapeur MP.

L'eau d'alimentation de chaudière est fournie par les pompes d'eau d'alimentation à partir des évaporateurs à thermo compression de l'Unité de déminéralisation.

I.6.3.2 La production d'énergie électrique :

Le site est alimenté principalement par une unité de production d'électricité se trouvant sur le site et comprenant 2 turboalternateurs d'une capacité de 2 x 45 MW.

Dans les conditions normales, les turbines des générateurs produisent de l'énergie électrique et de la vapeur MP via l'extraction des turbines.

L'alimentation électrique peut être produite en quantité suffisante pour faire marcher l'usine indépendamment du réseau extérieur.

I.6.3.3 Système d'azote :

L'azote est nécessaire au fonctionnement de train d'ammoniac. Il est fourni à l'état liquide (de l'extérieur) et stocké dans la cuve de stockage d'azote liquide à une pression de fonctionnement de 18 bars. Pour maintenir la pression du réservoir, un vaporisateur est installé.

I.6.3.4 Circuit de refroidissement à l'eau de mer :

Le circuit de refroidissement à l'eau de mer sera utilisé pour le refroidissement direct des condenseurs de turbines, du condenseur d'Ammoniac et du refroidissement de retour du circuit fermé d'eau de refroidissement.

L'Unité de refroidissement se compose principalement des tours de refroidissement, des pompes de circulation eau de mer et des échangeurs de chaleur à plaques.

L'eau de mer est alimentée comme eau d'appoint pour les tours de refroidissement dans le périmètre des installations. Afin d'éviter l'entartrage et la prolifération biologique dans les conduites d'alimentation en eau de mer, l'eau est traitée avec du bioxyde de chlore et des produits chimiques stabilisants.

I.6.3.5 Circuit de refroidissement en boucle fermée :

Deux circuits indépendants de refroidissement en boucle fermée alimentent en eau de refroidissement la totalité du complexe SORFERT.

A l'exception des condenseurs à l'eau de mer, tous les échangeurs de chaleur dans l'Unité de traitement et l'Unité de services font partie du circuit d'eau de refroidissement en boucle fermée. Pour le remplissage des circuits fermés, de l'eau polie est utilisée.

Refroidissement du circuit d'eau de refroidissement en boucle fermée est réalisé au moyen d'eau de mer dans plusieurs échangeurs de chaleur à plaques identiques. Les pompes doseuses fournissent les inhibiteurs requis pour les deux boucles.

I.6.3.6 Unité de dessalement :

Comprend deux unités :

- L'unité de dessalement par osmose inverse (RO) produira de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer durant l'opération de démarrage quand l'unité de dessalement par évaporation n'est pas en service.
- L'unité de dessalement thermo compression produira de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour assurer le fonctionnement des unités d'Ammoniac et d'Urée.

I.6.3.7 Unité de déminéralisation :

L'Unité est conçue pour fournir de l'eau polissée en quantité nécessaire pour l'exploitation de l'Unité d'Ammoniac, d'Urée y compris les Unités Hors site.

L'unité se compose d'une unité de déminéralisation d'eau, l'unité de polissage et l'unité de régénération et neutralisation commune pour les deux.

L'eau déminéralisée est produite à partir de condensat de procédé prétraité et d'eau de mer dessalée à partir de la technique résine échangeuse d'ions (anioniques et cationiques) à lit mixte. Cette eau est utilisée pour la génération de vapeur HP dans les chaudières autonomes.

I.6.3.8 Réseau d'eau anti-incendie :

Un réseau d'eau anti-incendie est prévu pour alimenter en eau les systèmes pour la Distribution et la protection des installations. Ce réseau comporte le réseau de conduites d'incendie, les boucles d'incendie, les moniteurs et les systèmes d'aspiration.

I.6.3.9 Prise d'eau de mer :

L'admission d'eau de mer fournira les différents utilisateurs du complexe des fertilisants.

SORFERT par de l'eau de mer fraîche pour les besoins suivants:

- Être utilisée comme eau d'appoint pour le système de refroidissement d'eau de mer afin de compenser les pertes par évaporation du système de refroidissement d'eau de mer.

- Approvisionner l'unité de dessalement par l'eau de mer fraîche.
- L'admission d'eau de mer inclue aussi les lignes de transfert vers le site de Production

I.6.4 Stockage et chargement :

La zone de stockage et chargement se compose de deux unités :

- **Stockage sur site :**

Le stockage sur site se constitué d'un réservoir d'ammoniaque liquide d'une capacité De 15 000m³ et d'un hangar d'engrais d'une capacité de 100 000 m³.

- **Stockage au port :**

Le stockage au port est constitué de deux réservoir d'ammoniaque liquide d'une capacité de 30 000 m³ pour chacun et une station de pompage d'ammoniaque liquide d'une capacité de 1000 m³/h et un quai d'expédition avec deux bras de chargements.

Chapitre II

Les réacteurs chimiques

II.1. Introduction :

Les réacteurs chimiques occupent une place centrale dans les entreprises du secteur de la chimie et des sciences de la vie. Par la mise en présence de réactifs dans des conditions adaptées, ils permettent de combiner et de transformer par réaction(s) chimique(s) les matières premières en produits utiles. Leur rôle prépondérant est à la hauteur des besoins énergétiques nécessaires pour permettre aux réactions d'avoir effectivement lieu et ce, de manière efficace. Les importantes consommations d'électricité, de chaleur et de froid qui en découlent, représentent naturellement un poids important sur la facture énergétique et l'impact environnemental de chaque entreprise du secteur. Dès lors, il s'avère utile pour chacune d'entre elles de s'interroger sur les optimisations énergétiques éventuelles qui pourraient être mises en place au niveau de leurs réacteurs chimiques.

II.2. Les réacteurs chimiques :

Un réacteur chimique est tout appareillage permettant de réaliser une réaction chimique, c'est-à-dire de transformer des espèces moléculaires en d'autres espèces moléculaires.

Le fonctionnement d'un réacteur (conversion, distribution des produits) conditionne en grande partie la nature des installations de préparation de la charge et de séparation des produits. Un gain en conversion ou en sélectivité du réacteur peut conduire à supprimer une colonne à distiller aval. La conception et l'optimisation du réacteur doivent donc faire l'objet d'une étude attentive. En ce sens, on peut dire que le réacteur est véritablement le cœur du procédé, qui requiert toute l'attention de l'ingénieur [5]

L'optimisation du rendement d'une réaction chimique est liée à deux facteurs.[1]

- Un facteur cinétique dépendant principalement de la température, de la pression, des concentrations, du temps de séjour dans le réacteur et de l'usage éventuel d'un catalyseur.[1]
- Un facteur d'équilibre thermodynamique dépendant principalement de la température et de la pression (pour les réactions avec variation de volume) Dans la plupart des cas, le procédé chimique mis en œuvre pour la synthèse d'un produit est figé de longue date par l'ingénierie de l'entreprise. Il semble donc a priori immuable et il est assez rare que l'on pense à remettre en cause les paramètres « process ». Toutefois, il reste généralement suffisamment de degrés de liberté à l'opérateur pour optimiser dans une certaine mesure les différentes variables opératoires dont la valeur peut avoir un impact substantiel sur le bilan énergétique

de la réaction. Se poser la question de l'optimisation de ces paramètres, au démarrage mais aussi après plusieurs années de fonctionnement ou encore à l'occasion d'un nouvel

- investissement, peut donc toujours valoir la peine. [1]

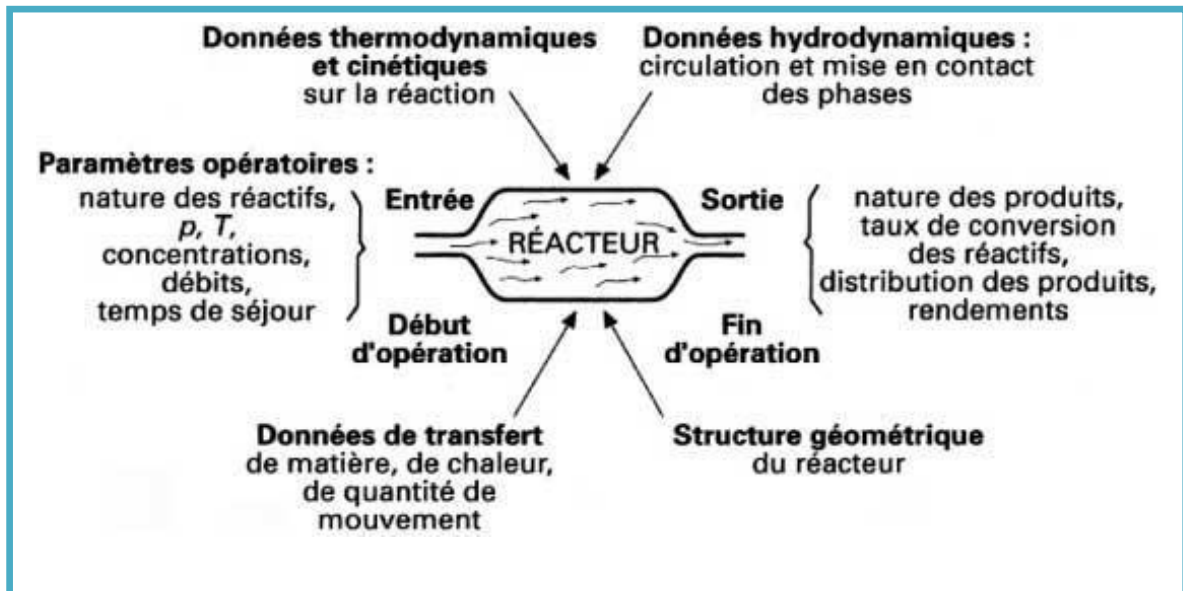


Figure II -1 : Facteurs gouvernant le fonctionnement d'un réacteur chimique [1]

II.3. Caractéristiques principales d'un réacteur chimique

On peut classer les réacteurs selon différents critères dont les principaux sont:

- **Circulation du mélange réactionnel** : le réacteur est dit fermé ou discontinu ou encore "batch" s'il n'y a ni alimentation ni évacuation des constituants et continu s'il possède à la fois des alimentations et des évacuations pour les réactifs et les produits. Dans le cas où au moins un des constituants n'est plus alimenté ou n'est plus évacué, le réacteur est dit, indifféremment, semi-fermé. [2]

- **Evolution dans le temps** : si l'état du système (composition, T, P, etc.) varie au cours du temps, on parle du réacteur en régime transitoire.

C'est notamment, le cas des réacteurs fermés et semi-fermés.

Pour les réacteurs continus, après une première phase de démarrage, toutes les grandeurs peuvent devenir indépendantes du temps ; on parle alors du fonctionnement en régime stationnaire ou permanent. [2]

- **Degré de mélange** : cette caractéristique, qui joue un rôle primordial sur les

performances du réacteur, dépend de l'hydrodynamique de l'écoulement dans le système. Le degré de mélange dans un réacteur peut varier entre les deux cas extrêmes que sont le mélange parfait et le mélange minimal. Le premier cas peut être obtenu par une agitation dans le système dont la conséquence est de rendre identiques, en tout point et à chaque instant, toutes les caractéristiques du mélange réactionnel. En revanche, dans le deuxième cas, le mélange réactionnel est constitué de blocs n'échangeant aucune matière entre eux. Nous verrons plus loin comment ces définitions donneront naissance au concept de réacteurs dits idéaux. [2]

- **Phase en présence** : le réacteur est dit homogène ou mono-phasique si la transformation chimique se produit au sein d'une phase unique. Dans le cas contraire, il s'agit d'un réacteur hétérogène ou poly-phasique.
- **Mode de mise en contact des phases** : un réacteur poly-phasique peut fonctionner à co- ou à contre-courant ou encore à courants croisés.
- **Régime thermique** : les régimes thermiques les plus fréquents sont le régime isotherme (sans changement de température) et le régime adiabatique (sans échange de chaleur).

II.4. Classification des réacteurs :

Le réacteur chimique, enceinte dans laquelle est réalisée la transformation chimique, constituée le cœur des unités de fabrication chimique, rencontrées aussi bien dans les raffineries de pétrole, les complexes métallurgiques ou pharmaceutiques. Etant donné les diversités de taille et de formes des divers réacteurs rencontrés en pratique, on pourrait être tenté de prétendre qu'il est vain de chercher à les classer. Tous ces appareils ont cependant en commun le fait que leur fonction est de réaliser une transformation chimique. Donc, en se référant aux caractéristiques principales d'une réaction chimique, on devrait être capable de définir un certain nombre de critères qui serviraient de base à une classification. En effet toute analyse de ces appareils ne pourra être faite qu'après les avoir classés en un certain nombre de types bien caractérisés, auxquels les appareillages industriels pourront être identifiés. [3]

II.4.1. Selon la nature des phases en présence :

L'une des caractéristiques, que nous retiendrons en priorité, est celle qui est la plus apparente à l'échelle macroscopique. [4]

De ce fait, on fera une première distinction entre les divers cas suivant :

a. Système monophasique :

Le milieu réactionnel est alors constitué par une phase gazeuse ou une phase liquide.

- Système gazeux : la phase du milieu réactionnel est gazeuse (par exemple, chloration de l'éthylène, vapocraquage). [4]
- Système liquide : la phase du système réactionnel est liquide (par exemple, acétate d'éthyle à partir de $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, viscoréduction). [4]

b. Système poly – phasiques (ou hétérogènes) :

On peut ainsi rencontrer les combinaisons suivantes :

- mélange liquide-liquide (par exemple sulfonation, nitration des aromatiques).
- système gaz-liquide (par exemple oxydation, hydrogénation, chloration d'un réactif organique en phase liquide).
- système gaz-solide (par exemple combustion de charbon, grillage de pyrites).
- système gaz-solide (catalyseur) (par exemple synthèse de NH_3).

Parfois, on peut avoir un système tri - phasique :

- système gaz- liquide-solide (par exemple réaction Fischer-Tropsch liquéfaction du charbon, hydro sulfuration d'une coupe pétrolière. [4]

II.4.2. Selon le mode de fonctionnement :

Un deuxième critère qui servira pour la classification sera en quelque sorte fixé par les exigences pratiques de l'exploitation du processus chimique. Ainsi on a le choix entre un mode de fonctionnement discontinu et une opération réalisée en continu. [4]

a. Discontinu :

On qualifie parfois ces appareils de systèmes fermés, car durant le laps de temps pendant lequel la réaction se déroule il n'y a pas de flux de matière entrant ou sortant du système ; ce type d'appareil a la faveur des industriels pour les opérations jugées très délicates et les petites productions.[5]

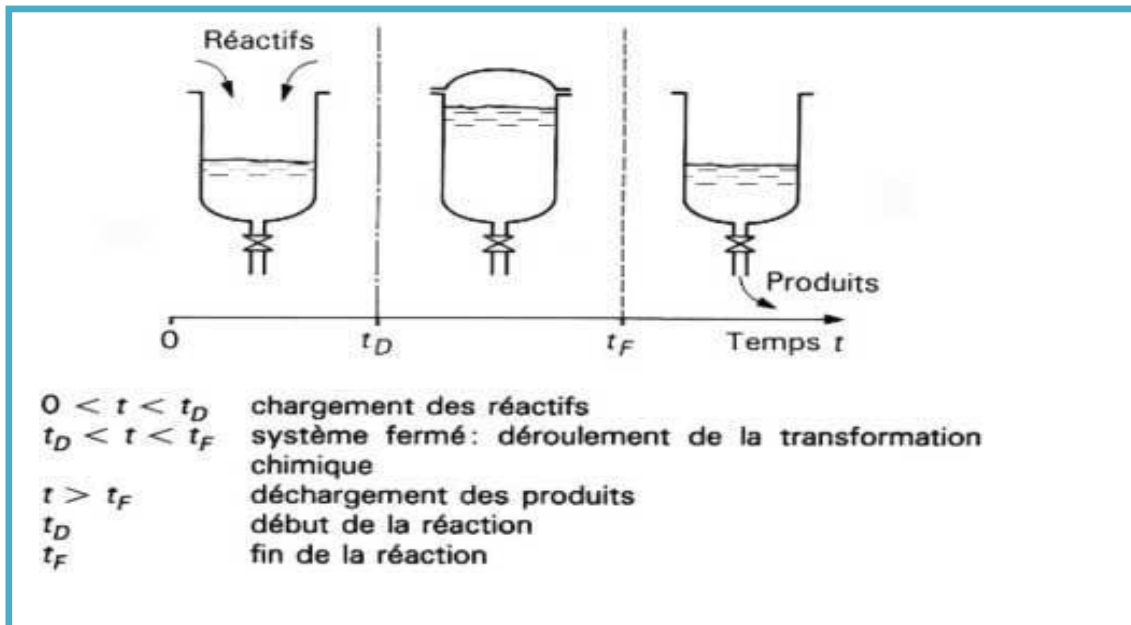


Figure II-2 : Opération discontinue : différentes phases [1]

b. Continu :

Les appareils fonctionnant en continu, qualifiés de systèmes ouverts, sont dotés d'une ou plusieurs entrées pour introduire les réactifs, et d'une ou plusieurs sorties par lesquelles les produits de la transformation sont évacués.

Une variante du système discontinu est réalisée lorsqu'une partie des réactifs est introduite tout au long de l'opération, le déchargement des produits se faisant, là encore, à la fin de l'opération. On qualifie ce mode d'opération de **semi-continu** (Figure II.3)

On trouve également des cas où les réactifs étant chargés au début de l'opération, certains produits de la réaction sont progressivement éliminés, tandis que la transformation se déroule. [5]

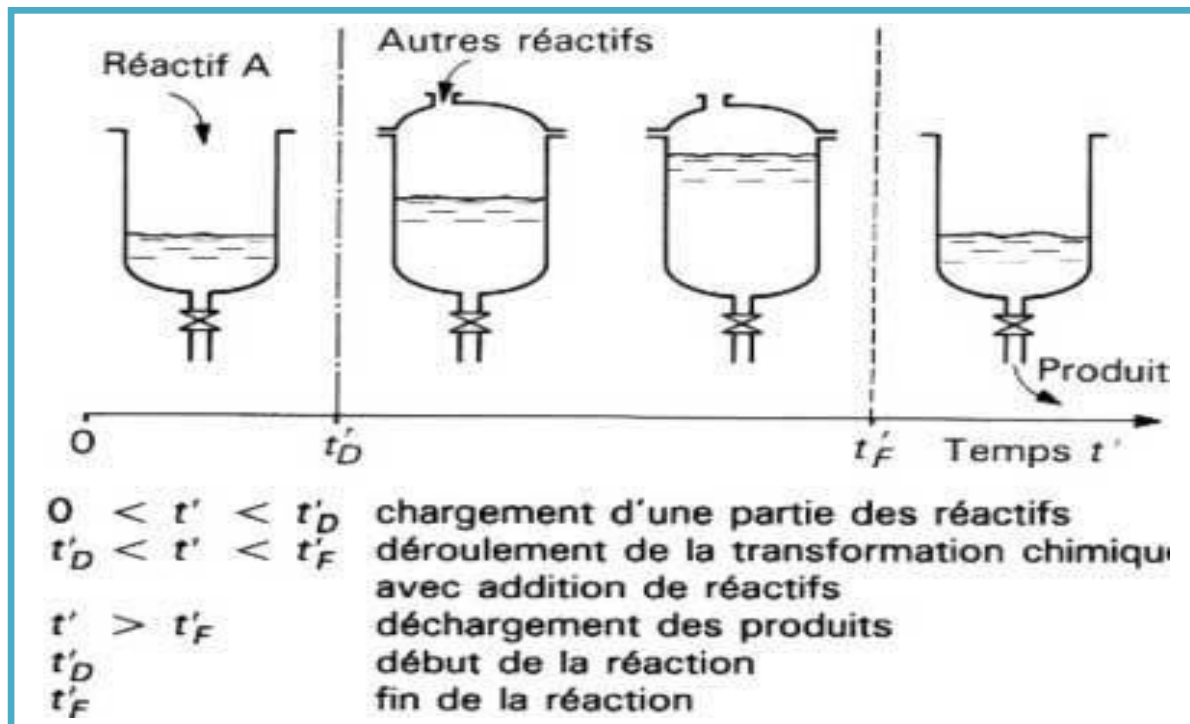


Figure II-3 : Opération semi-continue ,différentes phases [1]

D'une manière plus générale, on peut caractériser les deux modes d'opération définis ci-dessus par le fait que le système discontinu opère d'une manière non stationnaire, alors que le système continu est généralement conçu pour travailler en régime stationnaire.

Dans le cas de systèmes polyphasiques, il n'est pas exclu d'avoir une phase prisonnière à l'intérieur du réacteur (donc mise en œuvre en discontinu), alors qu'une autre phase alimente le réacteur et en est éliminée en continu. Le processus est alors qualifié de continu ou discontinu en se référant à la phase contenant le réactif principal. Ainsi, une hydrogénation en phase liquide, pour laquelle le liquide contenant l'espèce à hydrogéner reste dans le réacteur durant toute l'opération alors qu'une alimentation continue d'hydrogène est assurée, est qualifiée de discontinue (exemple : hydrogénation des huiles végétales). De la même manière, un réacteur catalytique à lit fixe sera classé dans la catégorie des appareils continus, quoique le catalyseur reste prisonnier dans le réacteur.

II.4.3. Selon le degré de mélange des substances en réaction :

Dès l'instant où l'on considère une opération continue, on a à l'intérieur du réacteur un cheminement des diverses phases, de leurs points d'entrée à leurs points de sortie.

Cet écoulement interne peut revêtir diverses formes qui dépendent évidemment de la

structure de l'appareillage.

On est ainsi amené à définir des types d'écoulement bien caractérisés, auxquels les cas rencontrés en pratique pourront être comparés et parfois identifiés. Ces écoulements types peuvent être qualifiés de modèles idéaux, sont de deux sortes. [5]

a. L'écoulement de type piston :

Dans le réacteur tubulaire la transformation de l'espèce chimique se fait progressivement le long du tube, il s'établit entre les extrémités de l'appareil un profil de concentration décroissant du réactif qualifiant cet appareil de réacteur à gradient de concentration. [6]

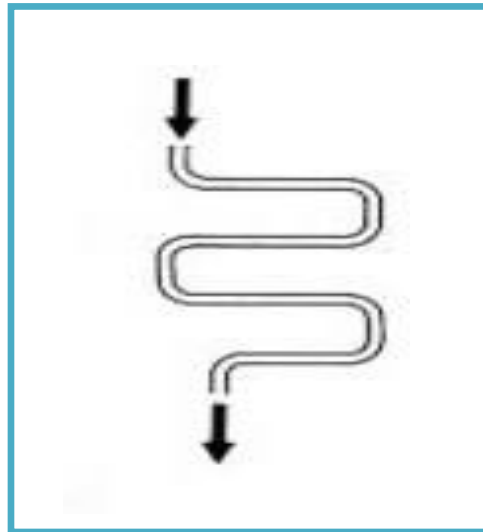


Figure II-4 : Ecoulement de type piston (réacteur tubulaire idéal) [1]

b. L'écoulement à travers un réacteur parfaitement agité :

Dans le cas d'une cuve parfaitement agitée, au contraire, le réactif entrant dans le réacteur se trouve brusquement plongé dans un environnement (milieu réactionnel) qui a une composition identique à celle du flux sortant du réacteur. Le réacteur travaille cependant en continu, c'est-à-dire qu'il alimenté par la charge fraîche et que les produits de la réaction sont soutirés de manière continue. Les concentrations des diverses espèces chimiques sont uniformes. [7]

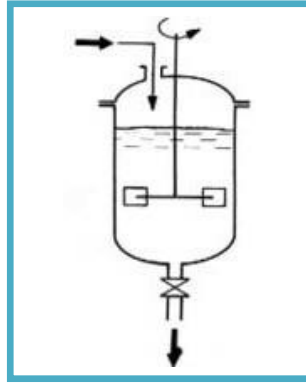


Figure II-5 : écoulement à travers un récipient parfaitement agité (Réacteur à cuve parfaitement agité) [1]

c. Un cas intermédiaire entre ces deux modèles idéaux :

Est le réacteur que l'on appelle le réacteur étagé, constitué par une série de zones parfaitement agitées. Au lieu d'avoir une brusque discontinuité des concentrations à l'entrée du réacteur, on a une série de discontinuités moindres à l'entrée de chacune des zones parfaitement agitées. [8]

On retiendra donc, pour notre classification, les modèles définis précédemment :

- **discontinu** (avec la variante semi -continue).
- **Continus:**
 - tubulaire.
 - parfaitement agité.
 - étagé.

II.4.4. Selon la mise en contact des phases :

De la même façon que pour les appareils de séparation, on a le choix entre divers modes de circulation des phases :

- a) **courants parallèles (ou co-courant),**
- b) **courants croisés ou à contre-courant,**

Si ce dernier mode de circulation est le plus utilisé, dans le cas des processus purement physiques c'est la rétention des phases (spécialement celle de la phase réactionnelle) qui constituera l'un des paramètres essentiels lors de l'étude d'un réacteur polyphasique. [9]

II.5. Types des réacteurs :**II.5.1. Réacteurs monophasique (homogène) :**

Conformément à notre classification nous distinguerons les trois types de réacteurs : discontinu, continu tubulaire et continu parfaitement agité

A. Réacteur discontinu :

C'est l'appareillage le plus simple que l'on puisse envisager pour réaliser une transformation chimique. Il consiste en un récipient dans lequel les réactifs sont introduits au début de l'opération ; après mise en conditions de température et de pression, la transformation se déroule jusqu'à l'obtention du taux de conversion désiré. On peut donc schématiser cet appareillage (figure 1.4), les éléments essentiels étant : [10]

- Un récipient capable de contenir un volume V de fluide réactionnel ;
- Une surface utilisable pour l'échange thermique ;
- Un système d'agitation pour mélanger, si nécessaire, les réactifs au début de l'opération et faciliter le transfert thermique avec la surface d'échange. Ainsi décrit, cet appareil apparaît bien adapté pour réaliser une réaction en phase liquide, mais difficilement applicable au cas d'une phase gazeuse.

D'une manière générale, le fonctionnement d'un réacteur discontinu peut être divisé en cinq phases successives plus ou moins distinctes : [10]

1. Chargement des réactifs dans le réacteur (jusqu'au temps t_1) ;
2. Mise en conditions de température et de pression (de t_1 à t_2) ;
3. Phase de réaction proprement dite (de t_2 à t_3) ;
4. Retour aux conditions normales de température et de pression (de t_3 à t_4) ;
5. Vidange du réacteur (de t_4 à t_5).

La durée totale de ces opérations est donc la somme des temps nécessaires pour réaliser chacune de ces étapes. Les étapes 1 et 5 sont bien identifiées et distinctes ; leurs durées sont déterminées compte tenu des dispositifs mis en œuvre pour faire écouler le milieu réactionnel vers le réacteur ou à partir du réacteur ; on peut, pour cela, mettre en œuvre des pompes, des dispositifs d'écoulement par gravité ou tout autre système capable de véhiculer des fluides. [10]

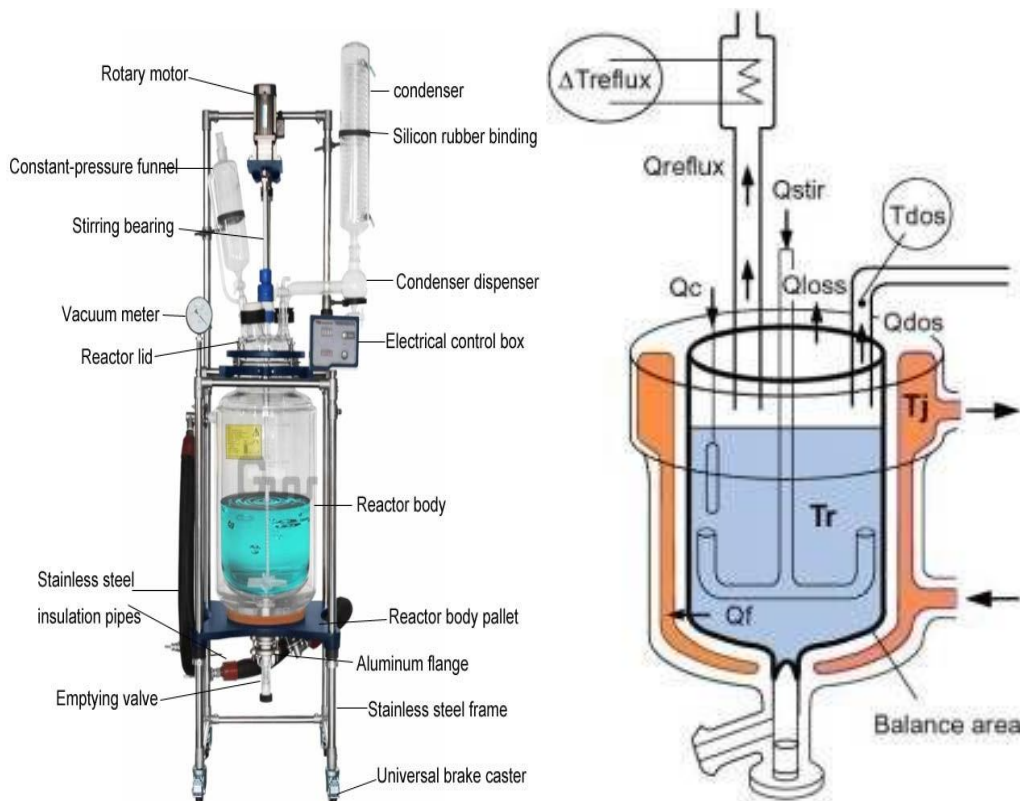


Figure II-6 : Réacteurs monophasiques discontinus [11].

B. Réacteur tubulaire continu :

Comme son nom l'indique, ce réacteur est constitué d'un tube, à l'intérieur duquel circule le milieu réactionnel. L'échange de chaleur nécessaire soit pour apporter de l'énergie thermique au système, soit pour en éliminer, se fait à travers la paroi du tube. Suivant la température à laquelle se déroule la réaction, on aura donc des technologies assez distinctes: [12].

- A température modérée ($< 500\text{ C}^\circ$), on utilise un système de tubes concentriques avec circulation entre les deux tubes d'un fluide caloporteur (eau, vapeur, fluide organique, sel fondu) ;
- A température élevée ($> 500\text{ C}^\circ$), le tube est placé dans un four, chauffé au moyen de brûleurs à gaz ou à fuel. Dans ce cas, le tube est situé dans la zone de convection et/ou de radiation. Il forme des épingles avec des longueurs droites comprises généralement entre 6 et 12 m. On peut citer comme exemples typiques de ces deux technologies, respectivement la

polymérisation de l'éthylène et le vapocraquage de coupes pétrolières pour obtention d'éthylène.

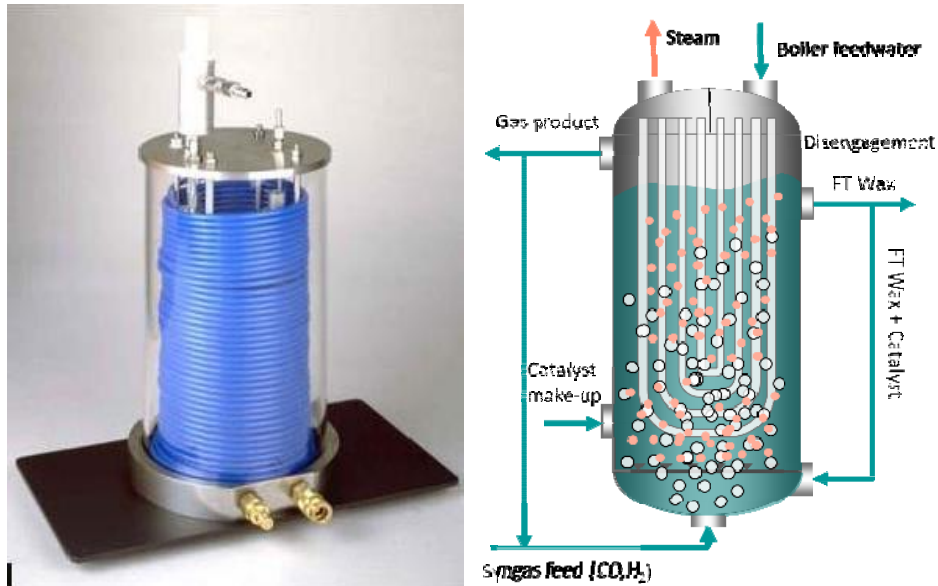


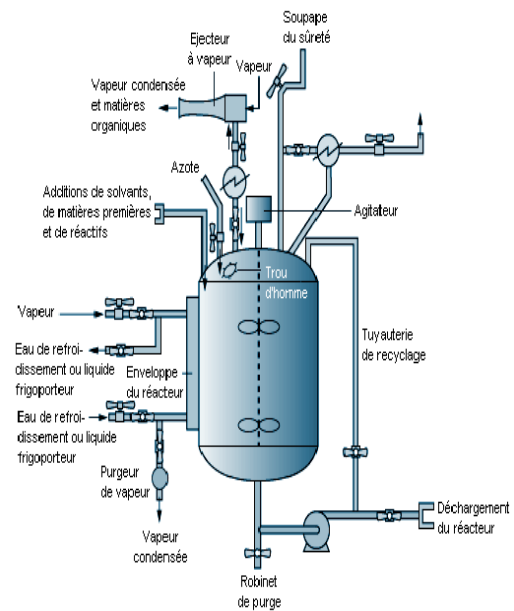
Figure II-7 : Réacteur tubulaire continu [13].

C. Réacteur parfaitement agité :

Dans la pratique industrielle, les réacteurs parfaitement agités sont des simples récipients cylindriques munis dans dispositif d'agitation interne efficace ainsi que d'une tubulure d'alimentation et d'une tubulure de soutirage .le temps de séjour est situé entre dix minutes et quatre heures.

Ces réacteurs se distinguent le plus souvent les une des autres par leur système d'agitation et par leur système de chauffage ou de refroidissement.

En ce qui concerne l'agitation, on utilise, le plus souvent, un dispositif rotatif : les ailettes, fixées en bout de l'axe et ayant pour rôle de brasser le liquide, gaz ou le solide, sont de tailles et de forme très variables.[7]



Source: Environmental Protection Agency (EPA), 1993.

Figure II-8: Réacteur parfaitement agité [14].

II.5.2. Réacteurs à deux phases hétérogènes) :

Sous cette appellation, nous englobons les réacteurs dans lesquels sont présentes soit une phase gazeuse et une phase liquide, soit deux phases liquides non miscibles, soit une phase gazeuse ou liquide avec un solide. [15]

1. Réacteurs gaz-liquide :

Compte tenu de ce que nous venons de dire en ce qui concerne les critères de choix d'appareillages, il semble assez logique d'adopter un classement fondé sur la rétention de la phase liquide. On trouvera ainsi : [16]

- **Les appareils à forte rétention** : telles les colonnes à bulles et les cuves agitées.
- **Les appareils à rétention moyenne** : parmi lesquels on peut classer les colonnes à contre-courant (à plateaux ou à garnissage) et les réacteurs tubulaires à co-courant (tube vide ou garni).
- **Les appareils à faible rétention** : ces appareils peuvent être très variés (laveurs de gaz appelés scrubbers).

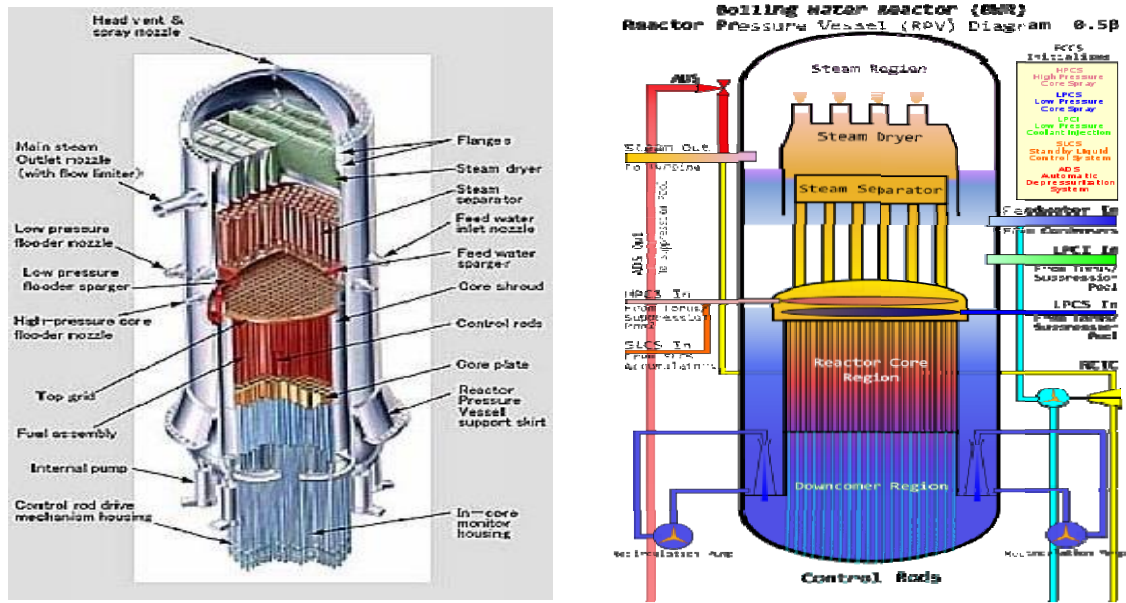


Figure II-9: Réacteur gaz-liquide [17].

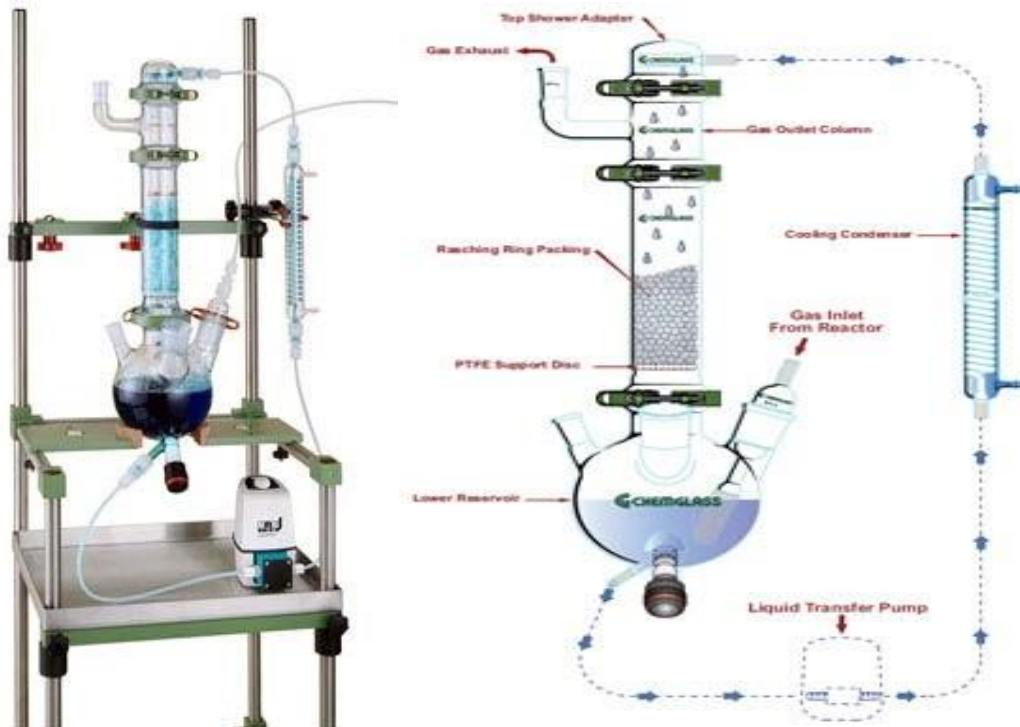


Figure II-10: Réacteur gaz-liquide du type laveur de gaz [18].

2. Réacteurs liquide – liquide :

Dans ce type d'appareillage, on tente d'atteindre deux objectifs de nature contradictoires :

- disperser le plus finement possible une phase dans l'autre, de manière à promouvoir le transfert
- séparer rapidement les deux phases par décantation.

On doit donc rechercher un compromis qui dépend énormément du comportement physique des deux phases, en particulier de la facilité avec laquelle on peut réaliser une dispersion sans créer une émulsion et surtout de la rapidité avec laquelle la décantation s'opère. En tant que réacteurs liquide-liquide, on retrouve les appareils utilisés comme extracteurs, qui peuvent être classés en diverses catégories, suivant que de l'énergie extérieure est apportée ou non, et que ce soit pour créer de dispersion ou pour accélérer la décantation. [19]

3. Réacteurs catalytiques :

Ce sont les plus répandus. Ils se distinguent à la fois par le mode de chauffage, le mode de travail (continu, périodique, cyclique), la nature du catalyseur (solide, liquide), le mode de récupération ou de régénération du catalyseur. La phase fluide (liquide ou gaz) doit entrer en contact avec la phase solide qui constitue le catalyseur. On distingue trois types principaux de réacteurs catalytiques : [20]

- **Réacteur à lit fixe** : Le lit fixe est constitué d'un empilement compact et immobile de grains de catalyseur à l'intérieur d'un tube. Les grains de catalyseur ont un diamètre équivalent généralement compris entre 1 et 5 mm. [21]

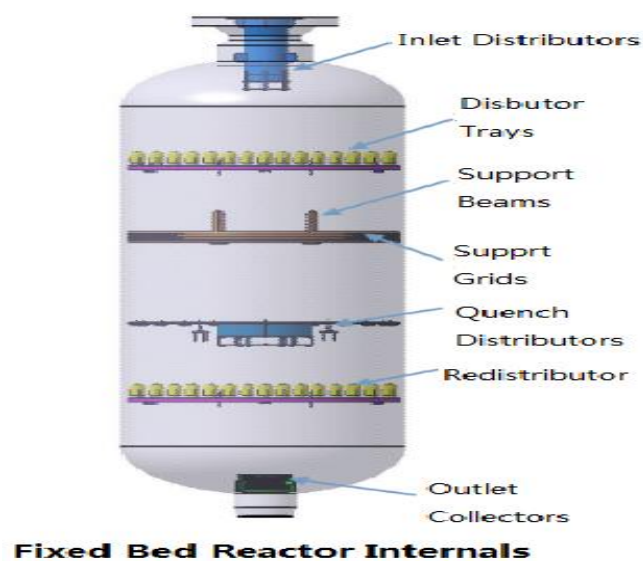


Figure II-11: Réacteur à lit fixe [22].

- **Réacteur à lit mobile :** Le lit mobile est encore constitué d'un empilement de grains de catalyseur à l'intérieur d'un tube. Dans ce cas cependant, le catalyseur est animé d'un mouvement de translation de haut en bas sous l'effet des forces de gravité. Quoique les autres possibilités ne soient pas exclues, cette mise en œuvre est surtout utilisée lorsqu'une lit catalytique.[23]
- **Réacteur à lit fluidisé :** Les particules de catalyseur sont, dans ce cas, placées dans un tube constituant l'enveloppe du réacteur. Une grille placée à la partie basse interdit aux particules de s'écouler vers le bas, alors que le ou les fluides réactionnels sont injectés au-dessous de cette même grille. Par suite de l'écoulement des fluides vers le haut, les particules de catalyseur sont amenées dans un état dit de fluidisation, caractérisé par des mouvements aléatoires de toutes les particules. [24]

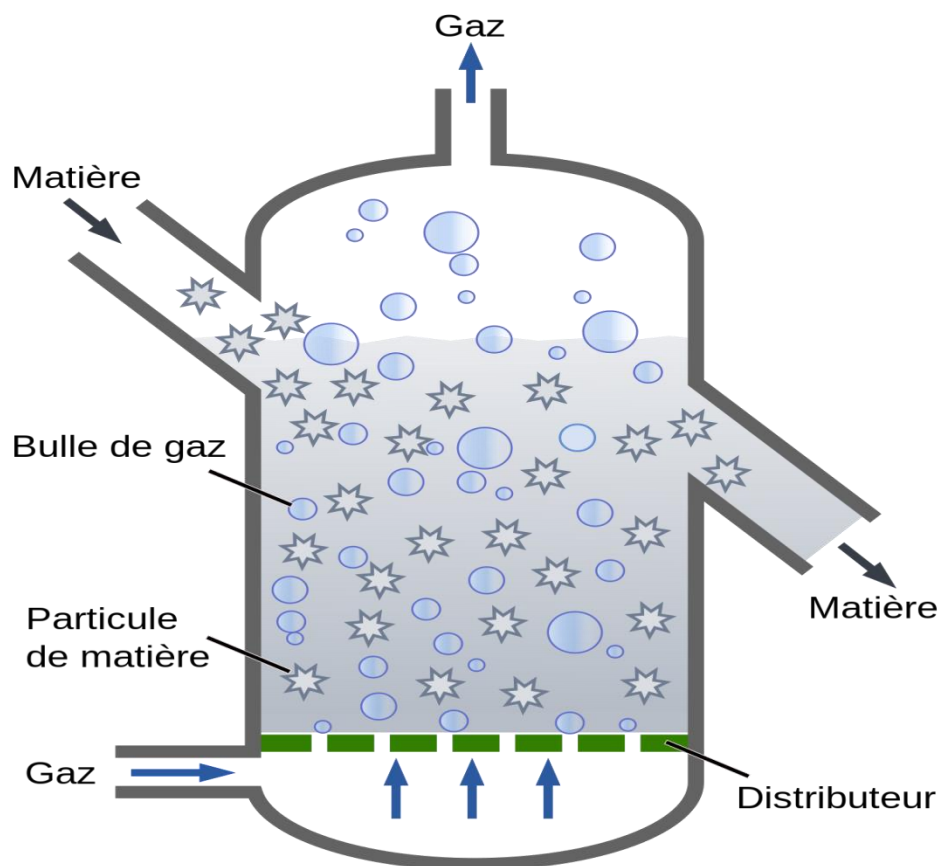


Figure II-12: Réacteur à lit fluidisé [25].

II.6. Choix d'un réacteur :

Pour Concevoir le meilleur réacteur possible afin de réaliser une réaction donnée, il faut d'abord choisir le ou les facteurs que l'on a intérêt à privilégier, qui peuvent être: [26]

- Le taux de conversion d'un réactif donné.
- Le rendement en produit cherché, c'est-à-dire la sélectivité dans le cas très fréquent où la réaction cherchée est accompagnée d'une ou de plusieurs réactions parasites, la recherche de cette sélectivité peut en effet amener à se contenter d'un faible taux de conversion, surtout si les réactifs sont faciles à isoler des produits de la réaction en vue de leur recyclage.
- La minimisation de la formation d'une impureté très difficile à séparer, ou susceptible de créer des problèmes (pour la sécurité, l'environnement, sa destruction, etc.).
- La minimisation du volume global, autrement dit la maximisation de la capacité de production, ou la minimisation des investissements.
- La sécurité du fonctionnement.
- La qualité du produit obtenu.

Mais il faut tenir compte de bien d'autres facteurs, notamment : [26]

- De la nature des réactifs et des produits de la réaction. Le réacteur ne peut en effet être le même selon qu'il s'agit d'une réaction en milieu homogène entre gaz ou entre liquides, ou d'une réaction entre deux phases liquides, entre un gaz et un liquide, entre des liquides mais avec production d'un gaz, entre des solides fondus, etc....
- De la gamme de température et de pression à l'intérieur de laquelle la réaction se déroule.
- De la quantité de chaleur mise en jeu dans la transformation. Cette dernière peut être endothermique, athermique ou exothermique.

Chapitre III

Présentation de l'AMDEC

III.1. Introduction :

Parmi les outils et techniques de prévention des problèmes potentiels, la méthode **AMDEC** « Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité » (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA). la technique vise à étudier, identifier, prévenir, de prévenir ou au moins de réduire les risques de défaillance d'un système, d'un processus, d'un produit.

L'association Française de normalisation (Afnor) définit l'AMDEC comme étant « une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système ». La méthode consiste à examiner méthodiquement les défaillances potentielles des systèmes (analyse des modes de défaillance), leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de l'ensemble (les effets). Après une hiérarchisation des défaillances potentielles, basée sur l'estimation du niveau de risque de défaillance, soit la criticité, des actions prioritaires sont déclenchées et suivies

III.2. Les définitions de base :

AMDEC : analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité, en version française.

FMEA : Failure Mode and Effects Analysis en version anglaise, ou **FMECA** en ajoutant Criticality au sigle initial.

L'AMDEC est une analyse d'un problème potentiel plutôt qu'une analyse d'un problème avéré.

Cet ajout systématique aux acronymes de base peut aider à éviter cette confusion. Faire avancer une façon de penser, une méthode de travail, pas un formulaire à remplir

(Tableau III.1) [3]

Tableau III-1. Les quatre questions de base de l'AMDEC

Modes de défaillance potentielle	Effets possibles	Causes possibles	Plan de surveillance
Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?

III.2.1 Historique de la méthode AMDEC :

L'AMDEC a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas en 1966. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement sous le nom de FMEA pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité.

À la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobiles. [28] Bien qu'elle ait reçu de nombreuses critiques en raison du coût et de la charge de son application, elle reste l'une des méthodes les plus concertées et les plus efficaces.

En fait, il est de plus en plus utilisé non seulement dans le matériel, mais aussi dans les systèmes, les fonctions et les logiciels pour la sécurité, la maintenance et la disponibilité.

En conséquence, la méthode est désormais largement recommandée au niveau international et couramment utilisée dans toutes les industries dangereuses (telles que l'énergie nucléaire, l'aérospatiale et la chimie) pour l'analyse préventive de la sécurité opérationnelle.

Cette méthode a été largement introduite dans les normes de qualité (normes ISO 9000) pour faciliter la mise en place d'un système de gestion de la qualité structuré.

III.2. 2. But de l'AMDEC :

On ne réalise pas une étude AMDEC pour le plaisir de «faire de l'AMDEC» ou seulement pour faire travailler ensemble un groupe de personnes. Il faut être conscient que l'AMDEC requiert des compétences et du temps.

Dans le cas de système complexe, comportant de nombreux composants, elle peut même constituer un énorme travail.

Il convient donc de l'utiliser à bon escient, lorsque l'investissement (objectif, résultats attendus, mobilisation des personnes, coût) le justifie.

Parmi ce que l'on peut en attendre, citons de manière non exhaustive :

- procéder à un examen critique de la conception.

- Identifier les défaillances simples qui pourraient avoir des effets ou des conséquences graves ou inacceptables.
- Préciser, pour chaque mode de défaillance, les moyens de détection et les actions correctives à mettre en œuvre.
- Valider une conception ou identifier les points de conception devant faire l'objet de modifications ou d'améliorations.
- Dans ce dernier cas, déterminer s'il est préférable de chercher à diminuer la probabilité d'apparition des modes de défaillance ou de chercher à diminuer la gravité des effets des défaillances.
- Vérifier si la conception est conforme aux exigences de sûreté de fonctionnement du client (interne ou externe).
- Identifier les éléments qui devront faire l'objet d'un programme de maintenance préventive.
- Organiser la maintenance (niveaux de maintenance, pièces de rechange, documentation...).
- Pour les produits, faire apparaître la nécessité de procéder à des essais.
- Pour les procédés, faire apparaître la nécessité de mettre en place des contrôles.
- Pour les machines, concevoir de telle sorte que la tâche des opérateurs soit facilitée en cas de défaillance, et prévoir des possibilités de fonctionnement en mode dégradé, fournir aux responsables des choix techniques, des éléments d'aide à la décision sur le plan de la sûreté de fonctionnement.
- Mieux connaître et comprendre le fonctionnement du matériel [29]

III.2.3. Types d'AMDEC et définitions :

Il existe différents types d'AMDEC, dont les trois principaux sont :

III.2.3. 1. AMDEC Produit:

C'est l'analyse des défaillances d'un produit, dues à sa conception, sa fabrication ou son exploitation, pour améliorer sa qualité et sa fiabilité

Utilisée pour fiabiliser les systèmes par l'analyse des défaillances dues aux erreurs de conception. Ce type d'AMDEC est donc initialisé en phase de développement produit au moment de sa conception.

L'AMDEC peut être réalisée à différents stades de la conception du produit, en ne perdant pas de vue qu'elle sera d'autant plus efficace qu'elle interviendra plutôt dans le processus de conception.

Au stade de l'analyse fonctionnelle

Au stade de la définition du produit [29]

III.2.3. 2. AMDEC Procédé (procès) :

C'est l'analyse des défaillances sur les méthodes de production d'un produit ainsi que les procédures mises en œuvre pour accomplir une tâche.

L'AMDEC Processus est utilisée pour analyser les défaillances générées par le processus de fabrication. Ce type d'AMDEC est idéalement initialisé en phase d'industrialisation au moment de la définition du processus de fabrication et de la conception des moyens [29].



Figure III-1 : AMDEC Procédé.

III.2.3. 3. AMDEC Moyen de production :

C'est l'analyse des défaillances des machines et équipements intervenants dans la réalisation d'un produit.

III.2.3. 4. L'AMDEC montage

On emploie aussi l'expression **AMDEC assemblage**. Pour certains produits ou pour certaines étapes de la fabrication d'un produit, le procédé (ou une partie du procédé seulement) sera constitué par une succession d'opérations totalement (ou partiellement) manuelles [29].

III.2.3. 5. L'AMDEC contrôle :

Ici encore, on est très proche de l'**AMDEC procédé**. Pour ces opérations de contrôle, les modes de défaillances pourraient être qualifiés de modes de défaillance génériques, puisqu'ils seront toujours du type :

- absence ou oubli du contrôle, déclarer un produit bon ou un produit mauvais [29].

III.2.3. 6. L'AMDEC sécurité :

Pour assurer la sécurité des opérations dans les procédés où il existe des risques pour l'homme

III. 3. Méthodologie d'AMDEC [28]

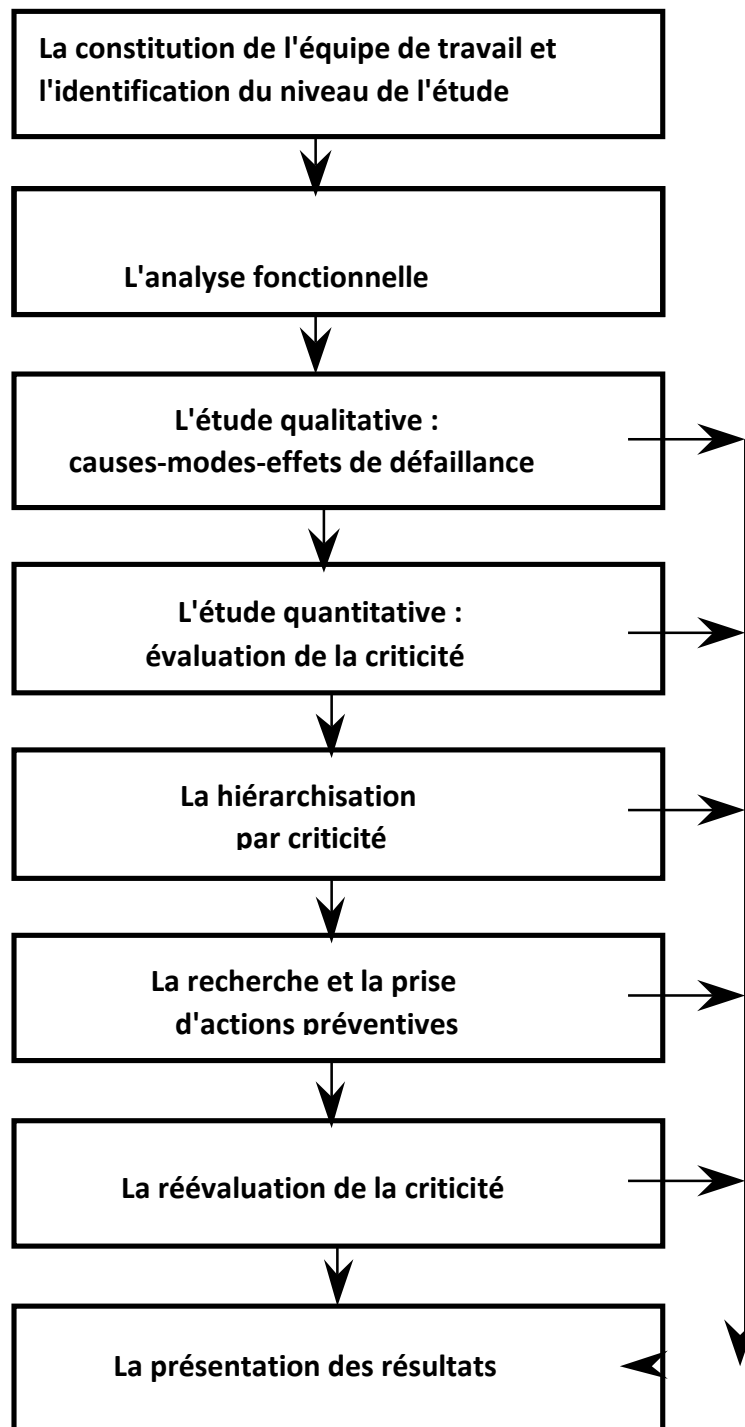


Figure III-2 :La démarche AMDEC

III. 3.1 . Le groupe de travail

Ce groupe est composé de 4 à 8 personnes provenant de différentes parties de l'entreprise.

- Prestations de fabrication
- Service de maintenance
- service qualité , service méthodes De plus, De plus, une personne du groupe agit à titre d'animateur.

Son rôle est d'animer et d'orienter les débats, de veiller au respect des limites de la matière, de désigner les arbitres en cas de litige, de rédiger l'AMDEC et de planifier les réunions.

III. 3.2 . L'analyse fonctionnelle :

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer d'une manière assez complète les fonctions principales d'un produit, les fonctions contraintes et les fonctions élémentaires.

- ❖ Les fonctions principales : sont les fonctions pour lesquelles le système a été conçu, donc pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.
- ❖ Les fonctions contraintes : répondent aux interrelations avec le milieu extérieur.
- ❖ Les fonctions élémentaires : assurent les fonctions principales, ce sont les fonctions des différents composants élémentaires du système.

Pour réaliser correctement l'analyse fonctionnelle il faut effectuer trois étapes principales:

- ✚ Définir le besoin à satisfaire. Le principe consiste à décrire le besoin et la façon dont il est satisfait et comment il risque de ne pas être satisfait.
- ✚ Définir les fonctions qui correspondent au besoin.
- ✚ Etablir l'arbre fonctionnel afin de visualiser l'analyse fonctionnelle. Très souvent les fonctions principales comportent des sous-fonctions ou résultent d'un ensemble des fonctions élémentaires. D'où le besoin de l'arbre fonctionnel [28].

III. 3.3 . L'étude qualitative des défaillances :

Elle consiste à faire une identification des modes de défaillances, de leurs effets et des causes conduisant au dysfonctionnement d'un élément du système.

Ces trois notions sont liées par la relation suivante : Cause → Mode → Effet [20].

Il s'agit d'identifier les schémas du type :



- **Le mode de défaillance**

Il concerne la fonction et exprime de quelle manière cette fonction ne fait plus ce qu'elle est sensée faire. L'analyse fonctionnelle recense les fonctions, l'AMDEC envisage pour chacune d'entre-elles sa façon (ou ses façons car il peut y en avoir plusieurs) de ne plus se comporter correctement.

Aussi:

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

⇒ **Plus de fonction :**

La fonction cesse de se réaliser,
« ne marche plus »

⇒ **Pas de fonction :**

La fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,
« ne marche pas »

⇒ **Fonction dégradée :**

La fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performance,
« marche de moins en moins bien »

⇒ **Fonction intempestive :**

La fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée,
« marche de temps en temps »

- **La cause**

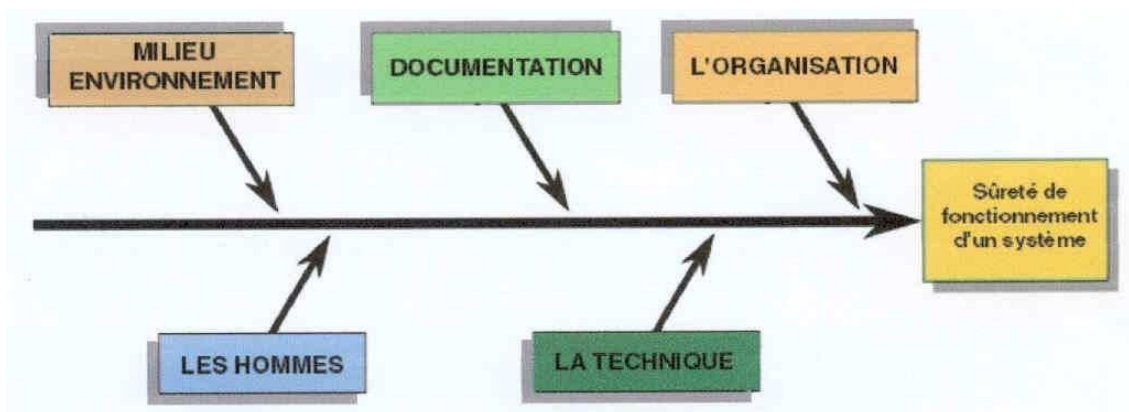
C'est l'anomalie qui conduit au mode de défaillance.

La défaillance est un écart par rapport à la norme de fonctionnement.

Les causes trouvent leurs sources dans cinq grandes familles. On en fait l'inventaire dans des diagrammes dits "diagrammes de causes à effets".

Il existe 3 types de causes amenant le mode de défaillance :

- ✓ Causes internes au matériel.
- ✓ Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation.
- ✓ Causes externes dues à la main d'œuvre.



Chaque famille peut à son tour être décomposée en sous-famille

Un mode de défaillance peut résulter de la combinaison de plusieurs causes

Une cause peut être à l'origine de plusieurs modes de défaillances

Quelques exemples :

Causes de Défaillance	Composants électriques et Electromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	<ul style="list-style-type: none"> - vieillissement - composant HS (mort subite) 	<ul style="list-style-type: none"> - vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites 	<ul style="list-style-type: none"> - contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
Causes externes milieu exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - pollution * (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques 	<ul style="list-style-type: none"> - température ambiante - pollution * - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier 	<ul style="list-style-type: none"> - température ambiante - pollution * - vibrations - échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre utilisation - manque d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - conception - fabrication - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation

• **L'effet**

L'effet concrétise la conséquence du mode de défaillance.

Il dépend du point de vue AMDEC que l'on adopte :

- effets sur la qualité du produit (AMDEC procédé)
- effets sur la productivité (AMDEC machine)
- effets sur la sécurité (AMDEC sécurité)

Un effet peut lui-même devenir la cause d'un autre mode de défaillance

III. 3.4 . L'étude quantitative :

❖ Acceptabilité, criticité, critères de jugement

Une défaillance de « critique » si jugée à travers un ou plusieurs critères, elle nous apparaît inacceptable. La notion d'acceptabilité est une notion relative, elle n'a de sens que dans un contexte donné [29].

Le jugement que nous pouvons porter sur une défaillance peut être :

- ✚ monocritère : dans ce cas, le critère est généralement la gravité des effets de la défaillance
- ✚ bi-critère : dans ce cas, les deux critères sont généralement la gravité des effets de la défaillance et la probabilité de survenue de cette défaillance
- ✚ multicritère : dans ce cas, les critères sont, par exemple, la gravité des effets de la défaillance, la probabilité de survenue de la défaillance, la possibilité de détection de la défaillance, etc [29].

❖ Les échelles de jugement

La criticité ou taux de criticité, est la combinaison de la sévérité d'un effet et de la fréquence de son apparition, ou d'autres attributs d'une défaillance, comme une mesure de la nécessité d'un traitement ou d'une atténuation [30].

L'analyse de la criticité des défaillances a été effectuée à l'aide des grilles proposées par l'outil AMDEC [31].

La criticité C, déduit par le produit des trois indices nominaux F, G et D.

$$C = F \times D \times G$$

C: Criticité (produit de l'occurrence, la gravité et la détection permettant la prise de décision quant à des actions correctives à mettre en œuvre).

F : la Fréquence (probabilité qu'un défaut se réalise pour une cause donnée) (**note 1 -> n**)

G : la Gravité des effets de la défaillance (**note 1 -> n**)

-> Sévérité relative à l'effet de la défaillance

D :la Détection [32]

(Fréquence de non détection) (note 1 ->

-> Probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant l'effet.

❖ **Les grilles de cotation**

Ces grilles proposent des choix possibles de critères selon le type du système à étudier :

Tableau III-2. Grille de cotation de la fréquence sur 4 niveaux

Niveau de Fréquence : F		Définition des niveaux
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
Fréquence faible	2	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente: plusieurs défaillances par semaine

Tableau III-3. Grille de cotation de la gravité sur 5 niveaux

Niveau de gravité : G		Définition des niveaux
Gravité mineure	1	Défaillance mineure : <ul style="list-style-type: none"> - arrêt de production inférieur à 2 mn. - aucune dégradation notable du matériel.
Gravité significative	2	Défaillance significative : <ul style="list-style-type: none"> - arrêt de production de 2 à 20 mn. - remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur placenécessaire.
Gravité moyenne	3	Défaillance moyenne : <ul style="list-style-type: none"> - arrêt de fonction de 20 mn à 1 heure. - changement du matériel défectueux nécessaire.
Gravité majeure	4	Défaillance majeure : <ul style="list-style-type: none"> - arrêt de fonction de 1 à 2 heures. - intervention importante sur sous-ensemble.
Gravité catastrophique	5	Défaillance catastrophique : <ul style="list-style-type: none"> - arrêt de fonction supérieur à 2 heures. - intervention lourde nécessitant des moyens coûteux. - problème de sécurité du personnel ou d'environnement.

Tableau III-4. Grille de cotation de la probabilité de non détection sur 4 niveaux

Niveau de la probabilité de non détection : D		Définition des niveaux
Détection évidente	1	Défaillance détectable à 100%. <ul style="list-style-type: none"> - détection à coup sûr de la cause de défaillance. - signe avant-coureur évident d'une dégradation. - dispositif de détection automatique d'incendie.
Détection possible	2	Défaillance détectable : <ul style="list-style-type: none"> - signe avant-coureur de la défaillance facilement détectable mais nécessitant une action particulière de l'opération (visite, contrôle visuel).
Détection improbable	3	Défaillance difficilement détectable : <ul style="list-style-type: none"> - signe avant-coureur de la défaillance facilement détectable, nécessitant une action ou des moyens complexes (démontage ou appareillage).
Détection impossible	4	Défaillance indétectable. <ul style="list-style-type: none"> - aucun signe avant-coureur de la défaillance.

III. 3.5 . La hiérarchisation :

La hiérarchisation suivant l'échelle de criticité permet de décider des actions prioritaires.

Elle permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leur traitement par ordre d'importance [28]

III. 3.6 . La recherche des actions préventives/correctives :

Après le classement des différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, le groupe désigne les responsables de la recherche des actions préventives ou correctives [28]

III. 3.7 . Le suivi des actions prises et la réévaluation de criticité :

Un nouvel indice de criticité est calculé de la même façon que lors de la première évaluation, en prenant en compte les actions prises. Cette valeur du nouvel indice de criticité est parfois appelée risque résiduel et peut être illustrée sous forme du diagramme Pareto.

L'objectif de cette réévaluation est de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises. Le nouvel indice de criticité doit donc être inférieur au seuil de criticité [28]

III. 3.8 . La présentation des résultats :

Pour pouvoir effectuer et appliquer l'AMDEC, des tableaux conçus spécialement pour le système étudié et préparés en fonction des objectifs recherchés. Ces tableaux sont habituellement disposés en forme de colonnes et contiennent, en général, les informations nécessaires pour réaliser l'étude [28]

IV. Autres méthodes d'analyse de défaillance :**IV. 1. Diagramme causes-effet ou Ishikawa :****IV. 1.1 Définition :**

Le diagramme de causes et effet créé par Kaoru Ishikawa, est une représentation graphique des causes d'un phénomène, regroupées en classes ou par famille autour des 5 M : Main d'œuvre, Matériel, Matière, Méthode et Milieu. Il aide à identifier, à classer et à hiérarchiser les causes et peut ainsi servir à les communiquer et à réfléchir à leurs solutions.

On dessine un diagramme en forme de poisson, la tête représente le problème ou l'effet à analyser comme on peut voir dans la figure II-2, [33]

IV. 1.2. But :

Analyser et visualiser le rapport existant entre un problème (effet) et toutes ses causes possibles. Le diagramme d'Ishikawa est un outil graphique qui sert à comprendre les causes d'un défaut de qualité, [34]

IV. 1.3 Principe :

- **Étape 1:** Définir clairement le problème
 - Placer une flèche horizontale, pointée vers le problème.
- **Étape 2:** Classifier les causes recherchées en grandes familles
 - Matière: matière première, fourniture, pièces, ensemble, qualité.
 - Matériel: machines, outils, équipement.
 - Main d'œuvre: directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, Problème de compétence.
 - Milieu: environnement physique, lumière, bruit, poussière, Aménagement, température.
 - Méthode: instructions, manuels, procédures, modes opératoires utilisés.

On peut ajouter aux 5M deux critères supplémentaires, (Management et Moyen financiers) pour obtenir les 7M.

- **Étape 3:** Flèches secondaires
 - Ces flèches secondaires correspondent au nombre de familles de causes identifiées.
 - Il faut Les raccorder à la flèche horizontale. Chaque flèche identifie une des familles des causes Potentielles.
 - **Étape 4:** Minis flèches
 - Les causes rattachées à chacune des familles sont inscrites sur des minis flèches.
- Il faut avoir toutes les causes potentielles.

- **Étape 5:** Finalisation
 - Il faut rechercher parmi les causes potentielles les causes réelles du problème.
- Il faut agir dessus, les corriger en proposant des solutions, [35]

Le diagramme sera comme suivant :

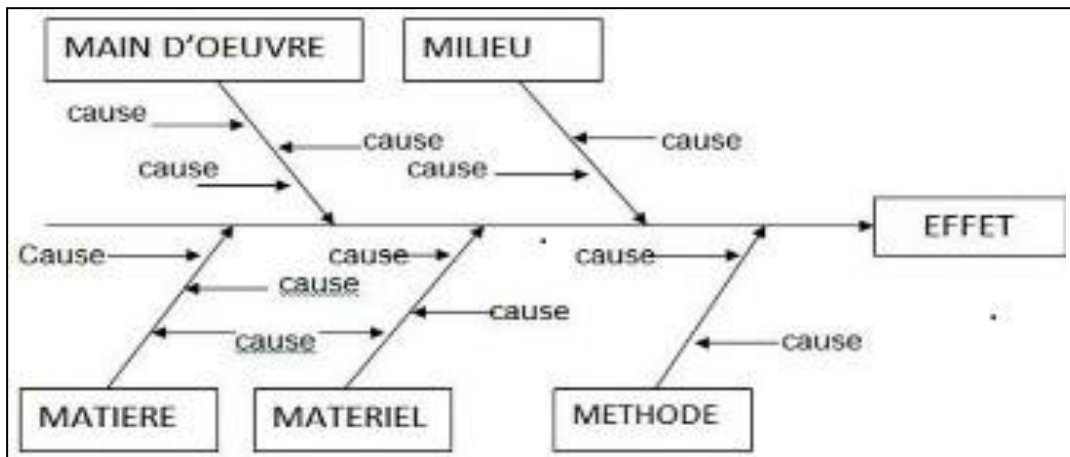


Figure IV-1: Diagramme Ishikawa

IV. 2. La méthode qqoqcp :

IV. 2.1. Définition :

Le QQQQCP est un outil de définition d'un problème, de recherche d'information sur ses causes ou des modalités de mise en œuvre d'une solution. Il s'agit en effet d'un exercice de remue-méninges structuré sous forme de liste de questions, évitant d'oublier l'une ou l'autre des dimensions d'une situation en se posant les questions : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment et Pourquoi [33]

IV. 2.2. But :

Le QQQQCP sert à identifier le problème dans son ensemble à partir de 6 questions. Il permet d'avoir sur toutes les causes du problème, des informations suffisantes pour déterminer avec exactitude quelle est la cause principale. Ces informations sont souvent basées sur des observations, des faits que l'on consigne au cours d'enquêtes.

Cela permet d'identifier les aspects essentiels du problème [34]

IV. 2.3. principe :

Il s'agit de poser les questions de façon systématique afin de n'oublier aucune information connue :

- Qui ?
 - qui a constaté le problème ?
 - Qui fait quoi ?
 - Qui est concerné ?

Quoi ?

de quoi s'agit il ?

Qu'a-t-on observé ?

• Où ?

Où cela s'est-il produit ?

Sur quel équipement ?

A quelle place s'est-il produit ?

• Quand ?

quand le problème a-t-il été découvert ?

Depuis quand y a-t-il ce problème ?

• Comment ?

comment s'est produit le problème ?

Avec quoi ?

• Pourquoi ? dans quel but ? **[36]**

IV. 3. l'arbre de défaillance :

IV. 3.1. Définition :

L'arbre des défaillances est une représentation graphique de type arbre généalogique (la filiation d'une famille). Il représente une démarche d'analyse d'événement. L'arbre de défaillances est construit en recherchant l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à un événement redouté (E.R.). L'objectif est de suivre une logique déductive en partant d'un événement redouté pour déterminer de manière exhaustive (exhaustif : sujet traité à fond) l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires **[37]**

IV. 3.2. But :

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un E.R.
- La représentation graphique des liaisons entre les événements
- Analyse qualitative : cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système **[37]**

IV. 3.3. Principe :

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un évènement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet **évènement sommet**, on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des **évènements intermédiaires** jusqu'à la mise en cause des **évènements élémentaires** (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole.

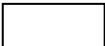

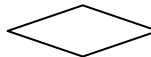
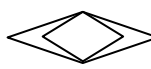

Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'évènement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance λ obtenu à partir des taux de défaillances λ de chaque composant mis en cause.

Pour établir cet arbre, il est souhaitable de s'aider de l'analyse des modes de panne et de défaillances décrits précédemment en AMDEC [37]

- **Symbole de l'arbre de défaillance**

Il existe d'autres types d'évènements définis par la norme et leurs symboles ainsi que leurs significations sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau IV-1. tableau de symbole

Symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Evènement redouté ou évènement intermédiaire
	Cercle	Evènement intermédiaire
	Losange	Evènement élémentaire non développé
	Double losange	Evènement élémentaire dont le développement est à faire ultérieurement
	Maison	Evènement de base survenant normalement pour le fonctionnement du système

L'arbre de défaillance et le suivant :

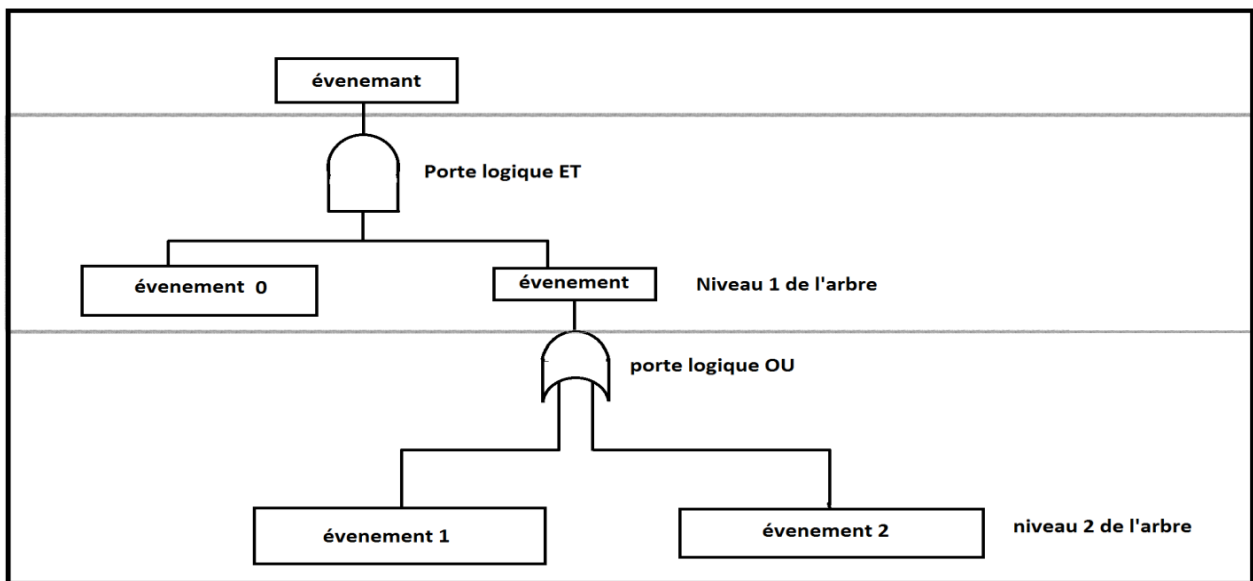


Figure IV-2 : arbre de d défaillance

IV.4. Graphe de Pareto ou Méthode ABC :

IV.4.1. Définition :

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet Vilfredo PARETO donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins et ceci sous la forme d'une représentation graphique. Cette règle de répartition a été définie par (socio-économiste italien, 1848-1923) on l'appelle aussi la règle des 80-20 [38]

IV.4.2. But :

Faire apparaître les causes les plus importantes qui sont à l'origine du plus grand nombre d'effets. Sachant que 20% des causes sont à l'origine de 80% des conséquences [34]

IV.4.3. Principe : (comment utilisé le diagramme de Pareto) :

- Déterminer le problème à résoudre.
- Faire une collecte des données ou utiliser des données déjà existantes.
- Classer les données en catégories et prévoir une catégorie "Divers" pour les catégories à peu d'éléments.

- Faire le total des données de chaque catégorie et déterminer les pourcentages par rapport au total.
- Classer ces pourcentages par valeur décroissante, la catégorie "Divers" est toujours endernier rang.
- Calculer le pourcentage cumulé.
- Déterminer une échelle adaptée pour tracer le graphique.
- Placer les colonnes (les barres) sur le graphique, en commençant par la plus grande à gauche.
- Lorsque les barres sont toutes placées, tracer la courbe des pourcentages cumulés.

On distingue trois classes A, B et C qui se distribuent de la manière suivante :

- Classe A : Les items accumulant 80% de l'effet observé
- Classe B : Les items accumulant les 15% suivants
- Classe C : Les items accumulant les 5% restant [39]

La représentation graphique et la suivant :

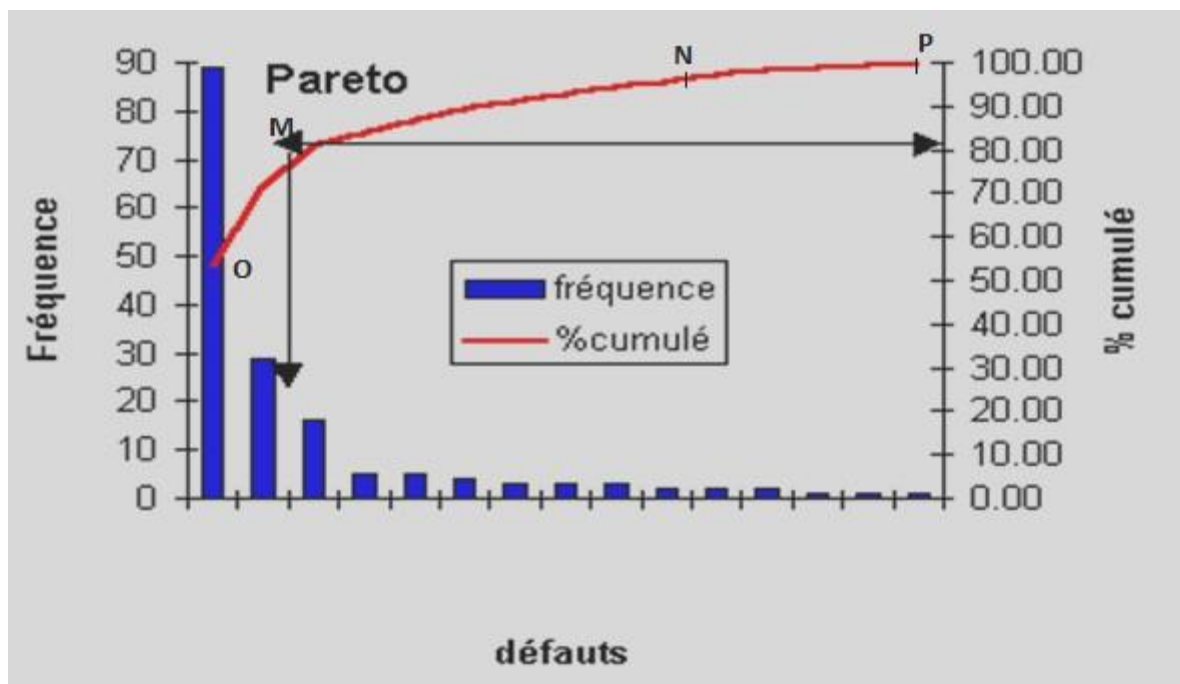


Figure IV- 3 : Graphe de Pareto

Remarque

- La partie droite de la courbe OM détermine la zone A.
- La partie courbe MN détermine la zone B.
- La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C

IV.5. Conclusion

D'après nos recherches, nous avons constaté que toutes ces méthodes d'analyse de défaillances, nous permet de maîtriser parfaitement la défaillance d'un équipement. Toutes ces méthodes ont le même objectif, c'est-à-dire définir la panne, ses causes et ses effets.

Parmi ces méthodes, L'AMDEC est la plus utilisée, car elle peut s'appliquer à une organisation, un processus, un moyen, un composant ou un produit, dans le but d'éliminer le plus en amont possible les causes des défauts potentiels. Donc c'est un moyen de se prémunir contre certaines défaillances et d'étudier leurs causes et leurs conséquences.

Le but de notre projet est l'application de la méthode (AMDEC) sur un réacteur de synthèse ammoniac de type 108R001.

Chapitre IV

Application de l'AMDEC

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons entamer la partie pratique de notre étude, notamment, réaliser les tableaux AMDEC en se basant sur les résultats de l'analyse de mode de défaillances effectuée lors du stage sur le réacteur de synthèse de l'ammoniac 108R001 et prévoir par conséquent, les recommandations possibles afin d'éliminer les causes de ces défaillances.

La démarche à suivre pour venir au bout de l'application de la méthode est comme suit :

- 1- Rechercher les défaillances ou les dysfonctionnements potentiels susceptibles d'affecter le réacteur étudié.
- 2- Analyser les conséquences de ces défaillances, d'identifier les situations qui en résulteraient.
- 3- Evaluer le niveau de gravité, de criticité ou d'acceptabilité de ces situations.
- 4- Savoir comment et sur quoi agir, quelles mesures envisager, dans le cas où ces situations apparaissent comme inacceptables.

V.2 : Initialisation de l'étude**V.2.1 : Description de l'équipement à étudier:****V.2.1.1 : le convertisseur d'ammoniac (108R001 et 108R002) :****a) Circulation des fluides dans les réacteurs (108R001 et 108R002) :**

Le cycle de synthèse de l'ammoniac est conçu pour une pression de fonctionnement de 210 bars. Le gaz recyclé provenant de l'étage de circulation du compresseur de gaz de synthèse 107K001 est préchauffé à 300 °C dans l'échangeur de chaleur gaz/gaz 108E003 à contre-courant du gaz chaud provenant de l'échangeur de récupération de chaleur II 108E002, avant d'entrer dans le convertisseur d'ammoniac I 108R001.

Le gaz recyclé entre dans le convertisseur au sommet et traverse l'échangeur de chaleur disposé entre les lits catalytiques, côté tubes. Il est alors chauffé à 380 °C à contre-courant du gaz chaud ayant réagi. Le gaz traverse le premier lit catalytique suivant un écoulement radial de l'extérieur vers l'intérieur. Dans l'échangeur de chaleur, la température du gaz de synthèse partiellement converti provenant du premier lit catalytique est réduite de 505 à 425 °C, c'est-à-dire à la température d'admission du deuxième lit catalytique. Après avoir traversé le

deuxième lit catalytique suivant un écoulement radial, le gaz quitte le convertisseur d'ammoniac I 108R001 via un tube central à une température de 486 °C.

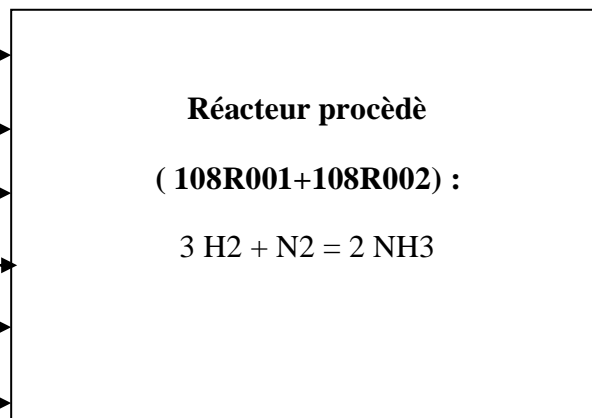
Le gaz de synthèse partiellement converti est refroidi dans l'échangeur de récupération de chaleur I 108E001, la chaleur récupérée servant à produire une vapeur HP saturée à 129 bar abs. À une température de 412 °C, le gaz entre ensuite dans le troisième lit catalytique installé dans le convertisseur d'ammoniac II 108R002. Dans ce convertisseur, le gaz traverse également le lit suivant un écoulement radial, de l'extérieur vers l'intérieur. Il quitte le convertisseur à une température de 456 °C et avec une teneur en NH₃ de 19,92 % mol.

V.2.2 : Description du Réacteur 108R001 :

Le convertisseur d'ammoniac I 108R001 est un convertisseur radial à deux lits avec un échangeur de chaleur disposé en aval du premier lit catalytique. Le convertisseur comprend une enveloppe résistant à la pression et un insert destiné à recevoir les lits catalytiques

Facteurs contrôlables

tempér. →
pression →
R.H₂/N₂ →
inertes →
catalys. →
v.spatial →



Réponses

→ Y=le rendement de la réaction
→ Y'=stabilité thermique

Nomenclature décrivant la structure de procédé

V.2.3 : Décomposition fonctionnelle

les élément d'installation d'un réacteur 108R001/108R002 :

On a décomposé le réacteur suivant :

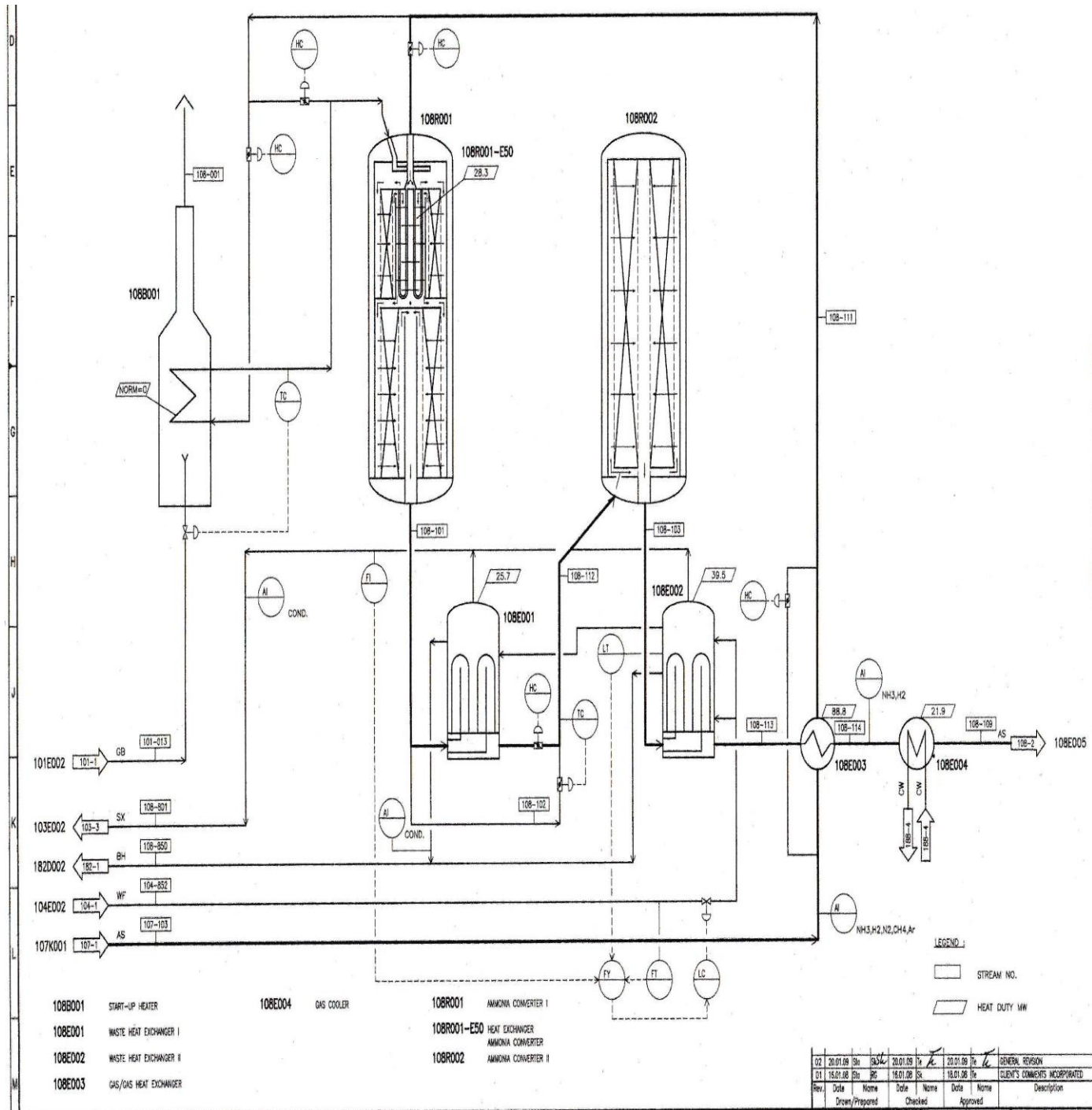


Figure V-1: Schéma d'installation du réacteur 108R001/108R002

Les éléments de l'installation du réacteur 108R001/108R002 :

- 108B001 : préchauffeur de démarrage.
- Hv108007 : vanne de temperature
- 108R001 : convertisseur radial deux lits avec échangeur
- Hv108009 : vanne temperature
- 108R002 : convertisseur avec un lit
- 108E001/108E002 : échangeurs de récupération de chaleur
- 108E003 : l'échangeur de chaleur gaz/gaz à contre-courant.

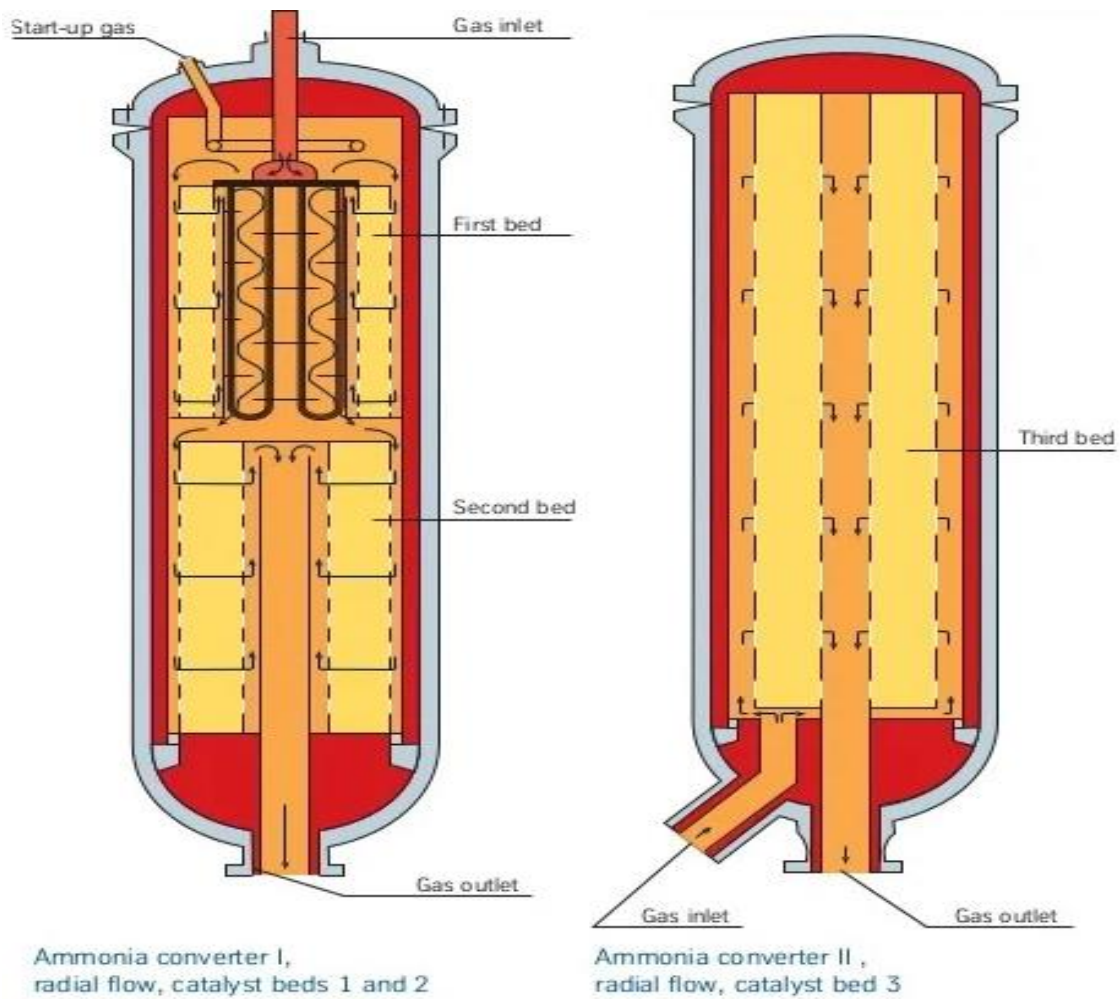
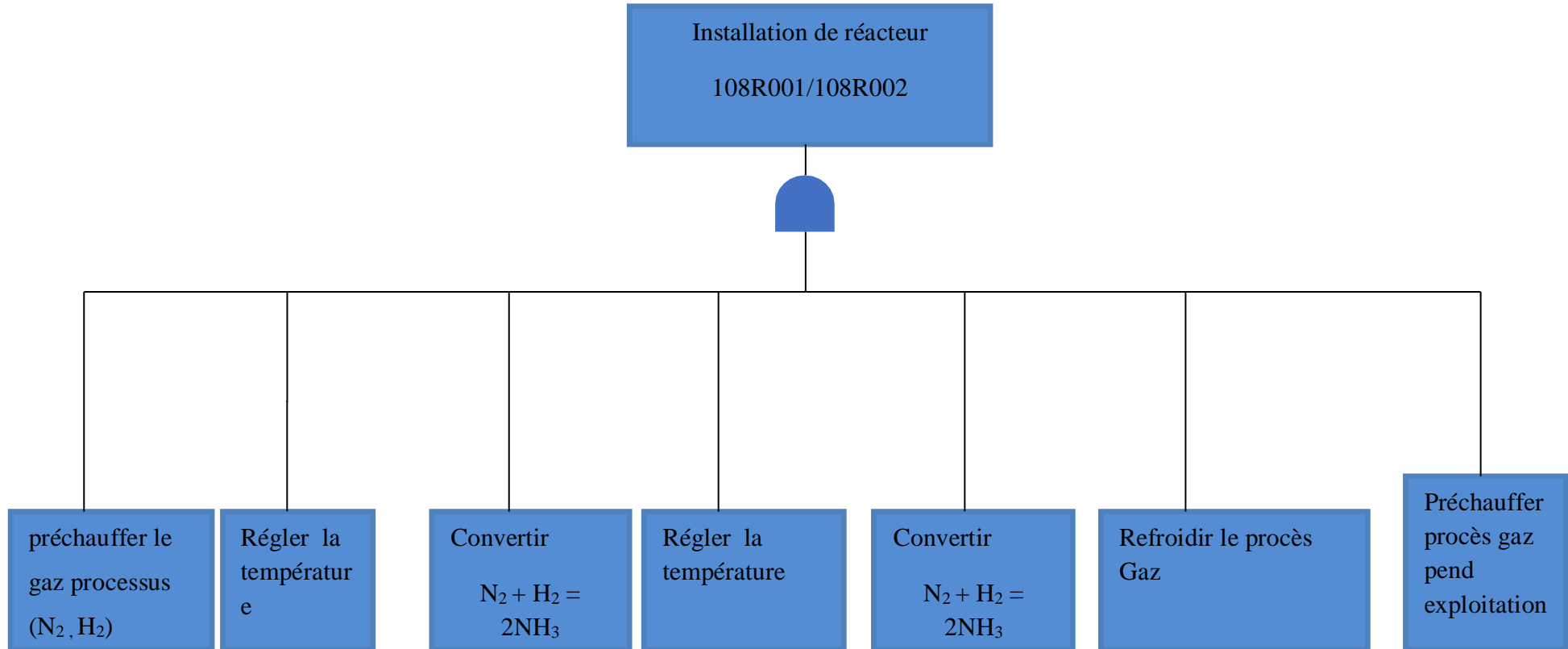


Figure V -2 : Structure des deux convertisseur

V.2.4 : L'analyse fonctionnelle

Système convertisseur (N₂,H₂,NH₃)



V.2.5 : L'analyse structurelle :

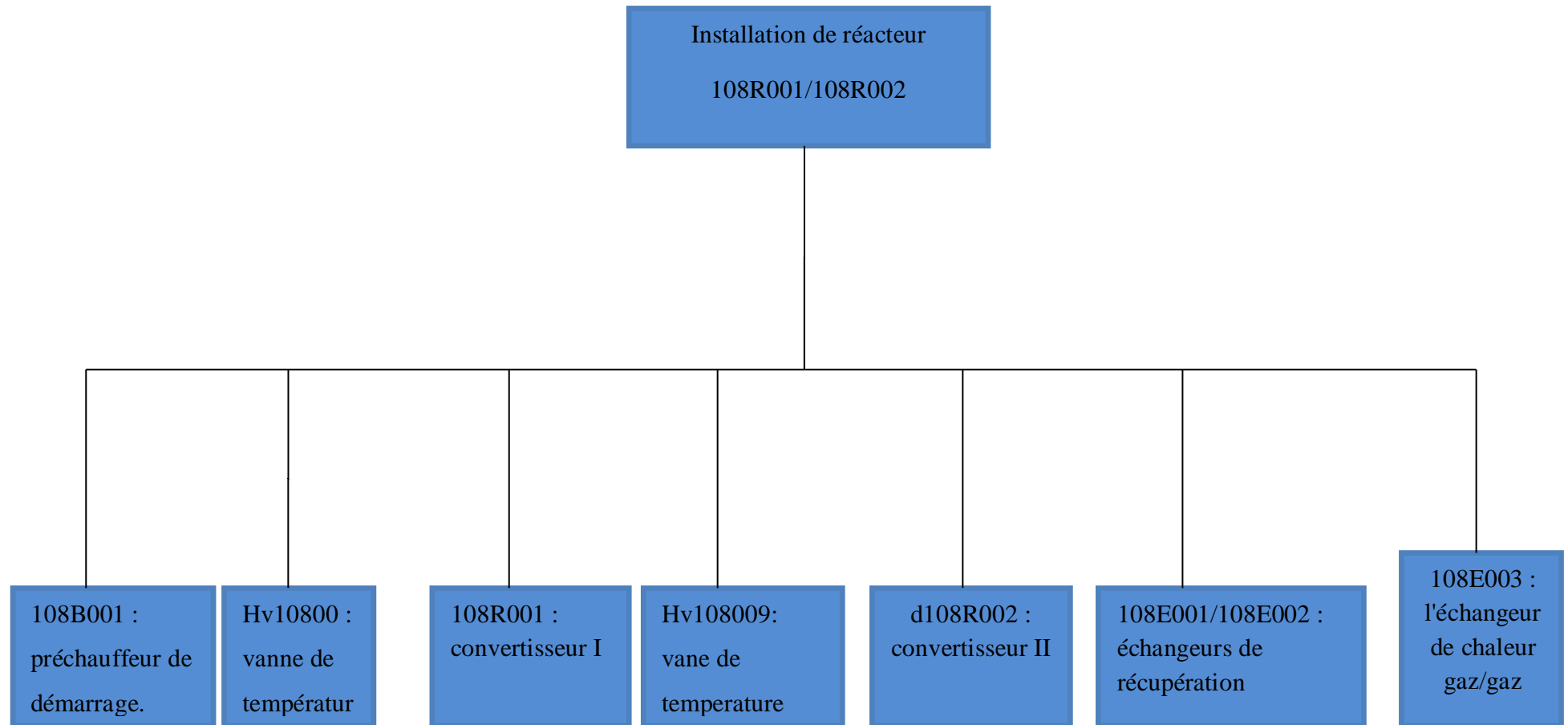


Tableau IV-1 : Tableau d'application de la méthode AMDEC :

Date de l'analyse 22/05/2022	ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS ET EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : Normale				Page :
	Système : Réacteur 108R001/108R002		Sous-ensemble: Conversion $N_2 + H_2 = 2NH_3$							Nom: B.H
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	
Préchauffeur de démarrage	- Pendant le démarrage seulement - utilisé pour le préchauffage de gaz processus (N ₂ , H ₂)	Extinction Brulure	Pas de gaz combustion	Perturbation de la synthèse	Température transmetteur	2	1	1	2	Maintenance privative
			Gaz imbrulé	Explosion	Visuel (son)	3	2	2	12	Recevoir le standard opératoire concernent a l'image de pilote flamme
Hv108007	Réglage de la température	Blocage	-corrosion	Perturbation de production	DCS	1	2	1	2	-Vérification périodiquement par instrument - maintenance préventive

Convertisseur (108R001/10 8R002)	Conversion $N_2 + H_2 = 2NH_3$	- Mal-opérations - température plus élevé	Perte de confinement	- Feu - explosion	-Visuel - DCS transmetteur température	2	4	3	24	Examiner et fournir des alarmes des température élevée sur toutes les mesures de températures cutanée et SOP pour les surveiller
Hv108009	Réglage de temperature	Blocage	-corrosion	Perturbation de production	DCS	1	2	1	2	-Vérification périodiquement par instrument - maintenance préventive
Echangeur (108E001/10 8E002)	Refroidissement le process Gaz	Tube intérieur endommagé	Corrosion	Domage l'intérieur	Analyse instrument laboratoire	2	3	2	12	à vérifier et tester chaque Arrêt (hydrostatique test)

Echangeur 108 E003	Préchauffage procès gaz pendant exploitation	Fuite de tube	Retour d'eau	Oxydation, Dommage de catalyseur (108R001/108R0 02)	Analyse instrument laboratoire	2	4	4	32	Mise à jour du standard opération de production
-----------------------	---	---------------	--------------	---	--------------------------------------	---	---	---	----	--

V.2.6 : Synthèse

Pour l'hierarchisation des défaillances selon leurs criticités, nous utilisons la matrice de criticité suivant :

F \ G	1	2	3	4	D
1	1	2	3	4	1
2	4	8	12	16	2
3	9	18	27	36	3
4	16	32	48	64	4

	Zone 1	Risque acceptable
	Zone 2	Risque a surveiller
	Zone 3	Risqué inacceptable

Matrice de criticité

Gravité	
1	faible
2	moyenne
3	grave
4	Très grave

Fréquence	
1	Très improbable
2	improbable
3	probable
4	Très probable

Après le tableau de l'amdec et la matrice de criticité nous remarquons que niveau de criticité décompose a :

Criticité entre $1 \leq C < 12$: risques acceptables,

Criticité entre $12 \leq C < 18$: risques importants,

Criticité entre $18 < C \leq 64$: risques inacceptables.

V.2.7 : L'hierarchisation:

Selon le tableau, le préchauffeur de démarrage et la vanne (Hv108007) et (Hv108009) présentent un risque acceptable, des actions correctives ont été prises : maintenance préventive et vérification périodique de l'instrumentation du préchauffeur de démarrage et maintenance préventive de la vanne

Il existe un risque surveiller pour l'échangeur (108E001 / 108E002) ainsi que pour le préchauffeur de démarrage, et la raison de ce risque du préchauffeur est le gaz non brûlé, la conséquence (explosion). Donc l'action corrective est :

Recevez une attention opérationnelle standard avec des images de pilote de flamme pour le préchauffeur et la vérification et des testeurs par Arrée (test hydrostatique)

Les composants à risque les plus sévères et inacceptables sont les convertisseurs (108R001/108R002) et l'échangeur 108E003,

Les actions correctives sont :

Vérifier et fournir toutes les mesures de température cutanée et les SOP (safety operating procedures) pour les alarmes de température élevée afin de les surveiller et de mettre à jour les normes de fonctionnement de production pour l'échangeur 108E003

V.3 Conclusion

Dans cette partie, nous avons déroulé l'analyse AMDEC suivant les étapes que nous avons citées. Ces étapes nous ont exigé de collecter des données sur l'équipement étudié. Pour obtenir des informations et dérouler cette analyse, on s'est basés sur le travail du groupe, en exploitant leurs expériences et leurs documentations existantes.

A partir des informations que nous avons obtenues et la maîtrise de l'enchaînement de six paramètres (fonction, mode de défaillance, effet, détection et criticité), nous avons pu réaliser un bilan qui regroupe beaucoup d'informations sur la défaillance et son mode, et nous avons proposé des opérations préventives afin de maintenir le bon fonctionnement du réacteur (108R001/108R002)

Conclusion générale

Conclusion générale

L'importance du développement des industries chimiques rend leurs fonctionnements plus complexes à maîtriser. Avec la grande diversité des activités de l'industrie chimique, les nombreux risques associés, peuvent expliquer l'augmentation des événements accidentels au cours des dernières décennies.

Le fonctionnement du complexe SORFERT peut se heurter à des problèmes divers reliés soit :à l'exploitation et à la gestion, soit au procédé lui-même, c'est pour cela que des méthodes ont été développées pour y remédier. Parmi ces méthodes, l'AMDEC occupe une place prépondérante. Cette méthode a été appliquée pour l'étude des défaillances du réacteur 108R001/108R002, de cerner les différentes origines et causes probables de ces défaillances et d'évaluer leur degré de gravité et de proposer quelques solutions.

Après avoir déterminé les différents éléments susceptibles de causer les défaillances du réacteur 108R001/108R002, notamment, le préchauffeur de démarrage, la vanne de température, le convertisseur et l'échangeur de chaleur, nous avons évalué la criticité des différents éléments étudiés. Les résultats des analyses trouvés d'après la méthode appliquée nous a permis d'identifier le degré de risques de chaque appareils.

Nous avons trouvé que le préchauffeur de démarrage et la vanne (Hv108007) et (Hv108009) présentent un risque acceptable, par conséquent, des démarches préventifs doivent être appliqués tels que : la maintenance et la vérification périodique de ces appareils.

Le convertisseur (108R001/108R002) et l'échangeur 108E003 présentent un degré de risque inacceptable, d'où la vigilance dans ce cas doit être augmentée, en plus des vérifications périodiques et de la maintenance, la surveillance de la température est très importante pour éviter les catastrophes.

Bibliographiques

Chapitre II :

- [1] : Jaques Villermaux. Technique D'ingénieur. J.4010. Page 04
- [2] : *Dr HAMAIDI Nassima Née MAOUCHE. Université A.MIRA Bejaia,*
<https://www.scribd.com/document/512984034/chapitre-3-RH>
- [3]: Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 3. Procèdes De Transformation.
Edition Technip. 1998. Page 51
- [4]: Emilian Koller. Aide-Mémoire. 4^{ème} Edition. 2013. Page 545
- [5] :Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 03.
- [6] :Emilian Koller. Aide-Mémoire. 4^{ème} Edition. 2013. Page 548
- [7]: Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 422.
- [8] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 419.
- [9] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 420
- [10] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 06.
- [11] :[Http : // www. Alibaba.com](http://www.Alibaba.com) (Glass Rector).
- [12] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 09.
- [13] :[Http ://www.Altenergymag.com/](http://www.Altenergymag.com/).
- [7] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 422.
- [14] :[Http : // www. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety](http://www.Encyclopaedia of Occupational Health and Safety). 4th edition.
- [I.19] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 10.
- [15] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 423.
- [16] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 426.
- [17] :[Http : // www. Euro pen Nuclear Society.com](http://www.Euro pen Nuclear Society.com).
- [18] : [Http : // www. Chemglass.com](http://www.Chemglass.com).
- [19] : Pierre Le Prince. Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements.
Edition Technip. 1999. Page 430.
- [20] : Emilian Koller. Aide-Mémoire. 4^{ème} Edition. 2013. Page 555.
- [21] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 19.

Bibliographiques

[22] :Http : // www. Vyt. Process. Engineering ltd.com

[23] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 22.

[24] : Pierre Trambouze. Technique D'ingénieur. J.4020. Page 23.

[25] : Http : // www. Lehrstuhl Für Chemsche Verfahrens technik.com

[26] : Emilian Koller. Aide-Mémoire. 4^{ème} Edition. 2013. Page 559.

Chapitre III :

[27] : Gérard Landy . amdec guide pratique, 2e édition.AFNOR. page 09

[28] : prof. Joseph kélada, Ecole des HEC-1994

[29] : Jean Faucher ,Livre Pratique de l'AMDEC (2009)

[30] : HUMBERT. J, LHOMME. J, Nouvelle méthode pour l'analyse de la criticité des dispositifs médicaux en exploitation (MACE), QPO12 : Communication professionnelle de projet, automne 2012

[31] : MAREY. A, et all, Impact d'une démarche qualité en sécurité transfusionnelle sur la prescription, l'optimisation des circuits, la traçabilité, Expérience du CHRU de Lille, Unité et Comité de Sécurité Transfusionnelle et d'Hémovigilance.

[32] : FRANÇOIS. J, INFOQUALITE, Lettre d'information du management par la qualité N°6du 1er Juillet 2002.

[33] : Nathalie Sorel, la gestion des problèmes et des incidents avec itil, école de technologie supérieure université de Québec LE 28 AVRIL 2007

[34] : Hamidouche Noureddine et Bordjah Ferhat, Analyse des modes de défaillances par la méthode Amdec pour un compresseur au sein de cevital ,Université A-MIRA de BEJAIA

[35] : <https://www.etudier.com/dissertations/Outil-d'Ishikawa/402178.html>

[36] : soudant-depelchin catherine, thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmaceutique,la gestion des déviations qualité sur un site de production pharmaceutique, 2012

[37] Les arbre des défallaince, <https://pdfcoffee.com/les-arbres-de-defaillances-pdf-free.html>

[38] : cours stratégie de la maintenance,
djelfa.dz/pluginfile.php/10244/mod_resource/content/1/Chap3.pdf

[39] : <https://pdfcoffee.com/outils-de-qualite-3-pdf-free.html>