



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en

Filière : Industrie pétrochimie
Spécialité : Génie de raffinage

Présenté par : Melle. ARABI Amaria Ikram
Melle. BENYAMINA Zineb

Thème

Etude de performance de la boucle de production de l'ammoniac

Soutenu le,

Devant le Jury :

| | | | |
|---------------------------|--------------|-----|---------------|
| Mr. LOUCIF Mohamed | Président | MAA | U. Tissemsilt |
| M. CHEMRAK Mohammed Amine | Encadreur | MCB | U. Tissemsilt |
| Mr. CHOUGI Abdelkader | Examineur | MCA | U. Tissemsilt |
| Mme. MOKHTAR Djamila | Examinatrice | MAA | U. Tissemsilt |

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENT

En tout premier lieu Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail, ainsi que l'audace pour surmonter toutes les difficultés.

En second lieu nous souhaitons remercier le directeur de notre mémoire, notre encadreur Dr. CHEMRAK MOHAMMED AMIN, son accompagnement tout au long du chemin nous a notamment permis de nous conforter dans le choix de notre problématique, encore peu étudié par le passé, et également de nous avoir guidé lorsqu'il nous manquait encore de recul face aux questions soulevées par nos travaux.

Nous remercions en outre l'équipe pédagogique de l'Université DE TISSEMSILT particulièrement le département de sciences et technologie, dont notamment Mr KHARAB et Mme BERDAA et toute l'équipe enseignante qui veille sur notre formation avec beaucoup d'efficacité aux connaissances relative à ce cursus.

Nous aimerions également remercier les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

Nous tenons enfin à remercier les nombreuses personnes, ingénieurs et opérateurs du complexe AOA ayant pris soin de répondre à nos questions, durant notre stage fin d'études, pour le temps qu'elles ont bien voulu accorder à nos travaux. Leurs témoignages nous ont été précieux pour établir notre raisonnement et bénéficier d'une vision d'ensemble sur nos interrogations.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation et de ses dévouements

A ma chère Mère

A celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions

A mon cher Père

A mes très chères grands-mères qui m'accompagne avec leurs douaa

A ma grande famille, oncles et tantes, cousins cousines qui m'ont toujours soutenue

A tous mes collègues et mes amies et surtout ma préférée mon binôme

Benyamina Zineb

Je dédie ce modeste travail

Merci d'être toujours là pour moi

ARABO Amaria Ikram

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux, quel que soit les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre d'Allah, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargnée aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère.

A mes grandes mères Khaira et donia Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes sœurs Donia et Sonia qui n'ont pas cessés de me conseiller, encourager, et soutenir tout au long de mes études. Qu'Allah les protège et leur offre le bonheur et la chance.

A mes frères Hadj et Mehdi pour leur soutien spirituel et moral.

A toute ma famille, merci pour leurs amours, soutiens, surtout leurs aides et supports dans les moments difficiles. Qu'Allah leur donne une longue vie.

A Mes camarades de classe et promos avec qui j'ai eu l'occasion de rencontrer au cours de mes études et qui ont su créer une ambiance amicale agréable.

Benyamina zineb

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

| | |
|--|----|
| Introduction générale..... | 13 |
| CHAPITRE 1 : Présentation du complexe AOA | 16 |
| 1.1 Introduction | 17 |
| 1.2 Activités..... | 17 |
| 1.3 Principales installation du complexe | 18 |
| 1.4 Description des infrastructures et installations du complexe | 19 |
| 1.4.1 Unité de production d'énergie électrique | 19 |
| 1.4.1.1 Générateur d'électricité d'urgence | 19 |
| 1.4.1.2 Système de génération de vapeur | 20 |
| 1.4.1.3 Système de dessalement d'eau de mer | 20 |
| 1.4.1.4 Système de refroidissement..... | 21 |
| 1.4.2 Unité de lavage des condensats | 21 |
| 1.4.3 Unité de génération de gaz | 21 |
| 1.5 Capacité de stockage | 22 |
| 1.6 Organisation Travail-Sécurité | 23 |
| 1.7 Politique Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE) | 23 |
| 1.7.1 La conformité | 24 |
| 1.7.2 La prévention..... | 24 |
| 1.7.3 La formation..... | 24 |
| 1.7.4 La communication..... | 24 |
| 1.7.5 L'amélioration continue | 24 |
| 1.8 Conclusion..... | 24 |
| CHAPITRE 2 : Généralités sur l'ammoniac | 25 |
| 2.1 Introduction | 26 |
| 2.2 Définition et structure d'ammoniac..... | 26 |
| 2.3 Historique | 26 |
| 2.4 Production mondiale d'ammoniac..... | 27 |
| 2.5 L'ammoniac dans l'industrie..... | 29 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.6 | Caractéristique de l’ammoniac | 29 |
| 2.7 | Propriétés physiques | 30 |
| 2.8 | Propriétés chimiques | 30 |
| 2.9 | Les avantages de l’ammoniac..... | 30 |
| 2.10 | L’inconvénient de l’ammoniac | 30 |
| 2.12 | Catalyseurs | 32 |
| 2.12.1 | Composition du catalyseur au fer..... | 33 |
| 2.13 | Analyse de l’ammoniac | 34 |
| 2.13.1 | Les méthodes utilisées pour la détermination automatique de l’ammoniac | 34 |
| 2.14 | Aspects liés à l’environnement, à la sécurité et à la santé | 34 |
| 2.14.1 | Aspects environnementaux de l’ammoniac et de la manutention de l’ammoniac..... | 34 |
| 2.14.2 | Les caractéristiques de sécurité | 35 |
| 2.14.3 | Aspects de santé et toxicité de l’ammoniac | 35 |
| 2.14.3.1 | Toxicologie..... | 35 |
| 2.15 | Précautions et manipulation | 35 |
| 2.16 | Conclusion..... | 35 |
| Chapitre3 : Description du procédé de la boucle de la production de l’ammoniac..... | | 37 |
| 3.1 | Introduction | 38 |
| 3.2 | Matières premières utilisé dans fabrication de l’ammoniac | 38 |
| 3.2.1 | Le gaz naturel..... | 38 |
| 3.2.2 | L’eau utilisée sous la forme physique | 38 |
| 3.2.3 | L’air..... | 39 |
| 3.4 | Description du procédé de fabrication de l’ammoniac du complexe –AOA- | 39 |
| 3.4.1 | Compression et désulfuration du gaz naturel | 39 |
| 3.4.1.1 | Premier réacteur | 39 |
| 3.4.1.2 | Deuxième réacteur A et B | 39 |
| 3.4.2 | Reformage | 39 |
| 3.4.2.1 | Le reformage primaire..... | 39 |
| 3.4.2.2 | Le reformage secondaire | 40 |
| 3.4.3 | Conversion du CO en CO ₂ (réaction de Shift) | 41 |
| 3.4.4 | Décarbonatation (extraction du gaz carbonique)..... | 41 |
| 3.4.5 | Méthanisation..... | 43 |
| 3.4.6 | Compression de gaz de synthèse | 44 |
| 3.4.7 | Section de synthèse de l’ammoniac..... | 44 |
| 3.4.7.1 | Synthèse et réfrigération de l’ammoniac | 44 |
| 3.4.7.2 | Gaz inertes /Purge de gaz | 46 |
| 3.4.7.3 | Convertisseur d’ammoniac..... | 46 |

| | |
|---|----|
| 3.4.8 Stockage de l'ammoniac | 48 |
| 3.4.9 Transport | 49 |
| 3.5 Conclusion..... | 49 |
| CHAPITRE 4 : Généralités sur la simulation | 50 |
| 4.1 Introduction | 51 |
| 4.2 Définition de la simulation | 51 |
| 4.3 Objectif de simulation | 51 |
| 4.4 Modélisation mathématiques..... | 51 |
| 4.5 Principe de fonctionnement de simulateur | 52 |
| 4.6 Diagramme de flux de processus (Process flow diagram (PFD)) | 53 |
| 4.7 Modes de fonctionnement des simulateurs..... | 53 |
| 4.7.1 Statiques (ou stationnaire)..... | 53 |
| 4.7.2 Dynamiques..... | 54 |
| 4.8 Le logiciel Aspen HYSYS | 54 |
| 4.8.1 Présentation du logiciel Aspen HYSYS..... | 54 |
| 4.9 Avantages de l'utilisation de l'Aspen HYSYS | 54 |
| 4.10 Les modèles thermodynamiques | 55 |
| 4.10.1 Modèles d'activité | 55 |
| 4.10.2 Modèles hétérogènes | 55 |
| 4.10.3 Modèles basés sur les équations d'état..... | 55 |
| 4.11 Le choix du modèle thermodynamique | 56 |
| 4.12 Utilisation du simulateur | 57 |
| 4.13 Concepts et caractéristiques du simulateur Aspen HYSYS | 57 |
| 4.13.1 Concepts de base du simulateur Aspen HYSYS | 57 |
| 4.14 Environnement de simulation..... | 58 |
| 4.15 Les étapes d'utilisation de simulateur HYSYS | 58 |
| 4.15.1 Démarrage de HYSYS | 58 |
| 4.15.2 Simulation Basis Manager | 59 |
| 4.15.3 Créer une nouvelle simulation..... | 59 |
| 4.15.3.1 Introduction des composés | 59 |
| 4.15.3.2 Définition du modèle thermodynamique..... | 60 |
| 4.15.3.3 Espace simulation..... | 60 |
| CHAPITRE 5 : simulation et calcul | 62 |
| 5.1 Introduction | 63 |
| 5.2 Les étapes de simulation..... | 63 |
| 5.2.1 L'introduction de composition | 63 |

| | |
|---|----|
| 5.2.2 Le choix de modèle thermodynamique | 63 |
| 5.2.3 L'introduction de la réaction | 64 |
| 5.3 Simulation | 64 |
| 5.3.1 Les équipements utilisés..... | 64 |
| 5.3.1.1 Le réacteur..... | 64 |
| 5.3.1.2 L'échangeur de chaleur | 65 |
| 5.3.1.3 Cooler | 65 |
| 5.3.1.4 Séparateur..... | 66 |
| 5.3.1.5 Le compresseur | 66 |
| 5.3.1.6 Mixer | 67 |
| 5.3.1.6 Tee..... | 67 |
| 5.3.1.7 Le convertisseur d'ammoniac 01-R-501 | 67 |
| 5.3.2 Données pour la simulation..... | 68 |
| 5.4 Discussion des résultats de la simulation | 70 |
| 5.4.1 La remarque..... | 71 |
| 5.4.2 Interprétation | 71 |
| 5.5 Les étapes de refroidissement..... | 75 |
| 5.6 Purge des gaz inertes | 76 |
| 5.7 Résultats obtenus à la fin de la loupe | 77 |
| 5.8 Conclusion..... | 78 |
| Conclusion générale | 79 |
| Références bibliographiques | 81 |
| Résumé | |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Fig.1.1 - Localisation du complexe AOA | 17 |
| Fig.1.2 - Bacs de stockage de l'ammoniac liquide..... | 19 |
| Fig.1.3 -Hangar de stockage des granulés d'urée..... | 22 |
| Fig.1.4 - Organigramme du complexe AOA..... | 23 |
| | |
| Fig.2.1- Structure d'ammoniac | 26 |
| Fig.2.2 - La production mondiale d'ammoniac en 2012..... | 27 |
| Fig.2.3 - Principaux pays exportateurs d' NH_3 en 2020 | 28 |
| Fig.2.4 - Principaux pays importateurs d' NH_3 en 2020 | 28 |
| Fig.2.5 - Fabrication de l'ammoniac à partir de méthane et d'air, via le procédé Haber Bosch. | 30 |
| Fig.2.6 – Les différentes formes de catalyseurs | 33 |
| Fig.2.7 - Catalyseur à base de fer | 33 |
| | |
| Fig.3.1 - Section de désulfuration | 40 |
| Fig.3.2 - Section de reforming..... | 42 |
| Fig.3.3 - Section de shift | 42 |
| Fig.3.4 - Section de décarbonatation | 43 |
| Fig.3.5 - Section de méthanisation | 44 |
| Fig.3.6 - Boucle de synthèse de l'ammoniac | 46 |
| Fig.3.7 - Convertisseur de synthèse de l'ammoniac S-300..... | 48 |
| Fig.3.8 - Bac de stockage de l'ammoniac..... | 49 |
| | |
| Fig.4.1 - Schéma de la modélisation et la simulation..... | 52 |
| Fig.4.2 -Process flow diagrams (PFD) | 53 |
| Fig.4.3 Les variables d'états..... | 56 |
| Fig.4.4 Démarrage de Aspen HYSYS | 59 |
| Fig.4.5 - Exemple de création de composants | 60 |
| Fig.4.6 - Choix d'un modèle thermodynamique | 60 |
| Fig.4.7 - Espace de simulation | 61 |
| | |
| Fig.5.1 - Introduction des composants | 63 |
| Fig.5.2 – Choix du modèle thermodynamique | 64 |

| | |
|---|----|
| Fig.5.3 - L'introduction de la réaction | 64 |
| Fig.5.4 - Le réacteur PFR..... | 65 |
| Fig.5.5 - Echangeur de chaleur..... | 65 |
| Fig.5. 6 – Cooler..... | 65 |
| Fig.5.7 - Séparateur | 66 |
| Fig.5.8 - Compresseur | 66 |
| Fig.5.9 - Mixer | 67 |
| Fig.5.10 - Tee | 67 |
| Fig.5.11 - Les trois lits catalytiques | 68 |
| Fig.5. 12 - Evolution de la température tout au long le 1er lit | 71 |
| Fig.5.13 - Composition d'ammoniac par rapport à la longueur du lit..... | 72 |
| Fig.5. 14 - Composition de l'hydrogène par rapport à la longueur du lit | 72 |
| Fig.5. 15 - Composition du nitrogène par rapport à la longueur du lit..... | 72 |
| Fig.5.16 - Taux de conversion d'ammoniac à la sortie du réacteur | 73 |
| Fig.5.17 - Evolution de température en fonction du longueur du lit | 73 |
| Fig.5.18 - Composition d'ammoniac en fonction de la longueur du lit | 74 |
| Fig.5.19 - Composition d'hydrogène en fonction de la longueur du lit | 74 |
| Fig.5.20 - Composition de nitrogène en fonction de la longueur du lit..... | 74 |
| Fig.5.21 - Schéma de simulation de la boucle de synthèse | 76 |
| Fig.5.22 - Purge de gaz..... | 76 |
| Fig.5.23 - La composition de gaz purgé..... | 77 |
| Fig.5.24 - Taux d'ammoniac finale..... | 77 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 2.1 - Capacités de productions et nombre d'usines dans l'Union européenne..... | 29 |
| Tableau 2.2 - Propriétés physiques d'ammoniac | 31 |
| Tableau 2.3 - Composition du catalyseur au fer classiquement utilisé dans le procédé Haber Bosch | 34 |
| Tableau 3.1 - Composition du gaz naturel du complexe -AOA- (Algérie)..... | 38 |
| Tableau 5.1 - La composition molaire du gaz d'appoint..... | 68 |
| Tableau 5.2 - Caractéristique des 3 lits | 68 |
| Tableau 5.3 - données de sortie et d'entrée de chaque lit | 69 |
| Tableau 5.4 - Paramètres de sortie du réacteur 01-R-501 (modèle Peng Robinson) | 70 |
| Tableau 5.5 - Paramètres de fonctionnement de sortie du réacteur 01-R-501 (cas actuel)..... | 70 |
| Tableau 5.6 - longueur du trois lits avant et après..... | 73 |

Nomenclature

| | |
|-----------------------|---|
| % Vol | Pourcentage volumique |
| 01-E-501.... 01-E-507 | Refroidisseur |
| 01-R-501 | Convertisseur |
| 01-V-101 | Séparateur |
| AOA | Aljazairia el Omania lil Asmida |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| CNTP | Condition normale de température et de pression |
| Co-Mo | Cobalt molybdène |
| D | Direction |
| EPI | L'équipement de protection individuelle |
| GS | Gaz de synthèse |
| GS BFW | Boiling feed water |
| HP | Haute pression |
| HSE | Hygiène, Sécurité et Environnement |
| HTS/ LTS | Haute et basse température SHIFT |
| K | Constante des gaz |
| K-100 | Compresseur |
| MDEA | Methyl di-ethanol amine |
| NH4 – CO2 – NH2 | carbamate d'ammonium |
| PFD | Process Flow Diagram |
| PFR | Plug Flow Reactor |
| Ppm | Partie par million |
| PR | Peng Robinson |

Nomenclature

| | |
|-----|---------------------------|
| RTO | Région de transport ouest |
| SEP | Séparateur |
| SRK | Soave-Redlich-Kwong |
| X | Composition |

Introduction générale

L'ammoniac est l'un des produits chimiques inorganiques de base les plus importants, non seulement pour la fabrication d'engrais mais aussi pour la production de plastiques, de fibres, d'explosifs et d'intermédiaires pour les teintures et les produits pharmaceutiques. C'est un composant réactionnel essentiel pour la synthèse de nombreux produits chimiques organiques utilisés comme solvants et intermédiaires.

La production d'ammoniac est une industrie à forte intensité énergétique, car elle nécessite des températures élevées (400-500°C) et une pression élevée (150-300 bars) pour ses processus quotidiens. Deux moles d'ammoniac sont obtenues par la réaction d'une mole d'azote et de trois moles d'hydrogène gazeux en présence d'un catalyseur classique, la magnétite (Fe_3O_4). Le procédé de production d'ammoniac est connu sous le nom de procédé Haber-Bosch, développé et breveté par Fritz Haber et Carl Bosch en 1916. Depuis lors, de nombreux travaux sur la production d'ammoniac ont été réalisés dans le but d'obtenir un rendement plus élevé en ammoniac [1].

La synthèse d'ammoniac utilise un réacteur catalytique hétérogène à lit fixe comme on les rencontre dans la plupart de procédés industriels complexes. Par l'intérêt qu'on donne à l'ammoniac, on peut dire que le réacteur catalytique de synthèse d'ammoniac est le cœur de tout le procédé. Le procédé de synthèse d'ammoniac a beaucoup évolué depuis ses humbles débuts. L'apport principal et incessant à ce procédé reste toujours le même à savoir : augmenter le rendement de la synthèse ; à titre d'exemple, des petites améliorations réalisées concernant le taux de conversion dans la technologie de l'ammoniac ont des conséquences économiques très importantes[2].

Ce stage nous a permis de percevoir le procédé de production d'ammoniac au sein de la société AOA, et comme tout société commercial opérant dans cette industrie, leur survie dépend principalement de leur compétitivité dans ce marché.

Par ailleurs, la hausse des prix des matières premières et de ceux de l'énergie incite la nécessité d'augmenter la production tout en minimisant les dépenses.

Ce travail s'articule ainsi au prisme de la problématique de l'amélioration du rendement de cette unité, on a opté que cela peut être achevé par le changement des paramètres de pression et température.

Typiquement, l'augmentation de la production d'ammoniac précipitera la désactivation du catalyseur, le dernier étant trop chère aura un impact négatif sur le rendement, d'où la nécessité d'optimiser le procédé par des moyens plus rentable.

Ce mémoire présente une étude sur la performance de la boucle de production d'ammoniac par le simulateur Aspen HYSYS, on estime les paramètres opératoires tels que : la température de sortie de mélange, la pression, le flux molaire, ... ,

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres :

Le premier chapitre sous le titre « Présentation du complexe AOA », où on a décrit le complexe et ces unités et ces utilités, son organisation et la politique d'hygiène et sécurité.

Le deuxième chapitre intitulé « Généralité sur l'ammoniac » où nous avons parlé sur l'ammoniac en général (sa définition et sa structure et ses propriétés ...etc).

Le troisième chapitre intitulé « description du procédé de la boucle de production de l'ammoniac » qui explique en détail ce procédé.

Le quatrième chapitre « Généralités sur la simulation », est consacré au simulateur HYSYS, on apprend une vue générale sur la simulation, la modélisation numérique et les simulateurs commerciaux. On apprend aussi un concept sur le logiciel HYSYS, ses caractéristiques et son principe de fonctionnement.

Le cinquième chapitre « simulation et calcul », concentrant sur la simulation du procédé par le simulateur HYSYS et faisant aussi des calculs.

Enfin, le travail s'achèvera par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 : Présentation du complexe AOA

1.1 Introduction

La société "Aljazairia el Omania lil Asmida" (A.O.A.), filiale spécialisée dans la production d'engrais azotés, est un complexe de production d'ammoniac et d'urée situé dans la partie nord-ouest du village côtier de Mers-El-Hadj, entre la mer Méditerranée au nord, l'ancienne route d'accès à la zone industrielle au sud, la limite actuelle de la zone industrielle d'Arzew à l'ouest (centrale électrique SONELGAZ) (Fig.1.1). Ce complexe s'étend sur 75 hectares. Cet investissement de 2,6 milliards de dollars, qui a débuté en 2008, a permis la création de plus de 550 emplois. Il est le fruit d'une collaboration entre l'organisation Sonatrach et un partenaire du Sultanat d'Oman[3].

Le complexe produit de l'ammoniac dont une grande partie est convertie en urée avec une capacité, en première étape, estimée à 2,4 millions de tonnes par an. La livraison des produits de ce complexe s'effectue à partir d'un quai de chargement d'une capacité de deux cargaisons à la fois, soit 60.000 tonnes d'urée et 30.000 tonnes d'ammoniac. La production est destinée à l'exportation vers plusieurs pays du monde tels que l'Espagne, Brésil, la Hollande, Tunisie...Etc., ainsi qu'à la satisfaction des besoins nationaux[3].

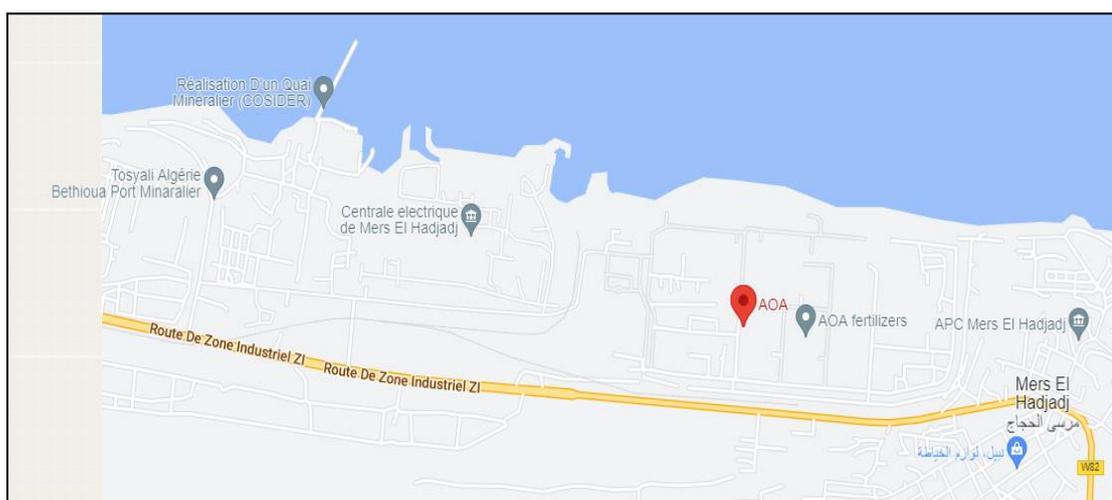


Fig.1.1 - Localisation du complexe AOA

1.2 Activités

Le complexe AOA d'Arzew spécialisé dans la fabrication de l'ammoniac et de l'urée, a été conçu pour atteindre les objectifs suivants :

- Valoriser les hydrocarbures par un traitement local.
- Exporter les engrais et l'ammoniac
- Satisfaire la demande nationale en matière d'engrais azotés.

La plateforme industrielle utilise comme matière première le gaz naturel provenant de la région de transport ouest (R.T.O.).

1.3 Principales installation du complexe

Le complexe se compose de :

- Deux unités identiques de production d'ammoniac, de capacité unitaire de 2 200 tonnes par jour suivant le procédé **HALDOR-TOPSOE**.
- Deux unités identiques de production d'urée granulée, de capacité unitaire de 3 500 tonnes par jour fonctionnant selon le procédé **SNAM-PROJETTI ITALY**.
- Une unité de production d'énergie électrique, incluant deux turbines à gaz et deux générateurs d'électricité d'urgence. Le réseau électrique sera connecté au réseau national.
- Un système de génération de vapeur haute pression et moyenne pression.
- Un système de prise et de rejet d'eau de mer.
- Des systèmes de refroidissement à l'eau de mer et à l'eau douce.
- Une unité de dessalement d'eau de mer (production autonome) et ses utilités associées.
- Une unité de déminéralisation.
- Une unité d'air d'instrumentation et de gaz de service
- Un système double de lutte contre l'incendie
- Des installations de livraison et d'expédition, y compris une jetée en mer (pour l'export de l'urée granulée vrac et de l'ammoniac liquide).
- Une station d'épuration industrielle pour le traitement des effluents liquides, incluant un bassin de protection et un bassin d'évaporation.
- Une zone de stockage constituée de :
 - Deux bacs cryogéniques de stockage d'ammoniac liquide au niveau de l'usine de capacité de 15000 m³(Mètre cube), voir Fig.1.2.
 - Un grand hangar de stockage et de conditionnement de l'urée (les engrais) de capacité de 150000 tonnes.
- Un laboratoire d'analyse physico-chimique.
- Des ateliers de maintenance.
- Un magasin général pour pièces de rechange.
- Un magasin de produits chimiques[3].



Fig.1.2 - Bacs de stockage de l'ammoniac liquide

1.4 Description des infrastructures et installations du complexe

1.4.1 Unité de production d'énergie électrique

L'usine d'ammoniac et d'engrais sera équipée de sa propre unité de production d'énergie électrique, basée sur l'utilisation de turbines.

Deux turbines à gaz, ou turbines à combustion, auront pour rôle la production d'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie libérée lors de la combustion du combustible gazeux avec de l'air comprimé.

L'énergie électrique sera obtenue par conversion de l'énergie mécanique produite par les deux turbines à gaz, par couplage avec un alternateur (génération de courant alternatif).

Ces deux turbines à gaz fonctionneront sur le principe de la cogénération, c'est-à-dire la récupération de la chaleur des gaz de combustion pour la production de la vapeur.

La cogénération est considérée comme la meilleure option pour réduire le volume global de dioxyde de carbone (CO₂) rejeté.

Le site sera également relié au réseau électrique de la ville (alimentation double d'électricité pour sécuriser le réseau)[3].

1.4.1.1 Générateur d'électricité d'urgence

Deux générateurs de secours permettront d'assurer un fonctionnement sécurisé des arrêts et démarrages des unités de productions.

Les deux générateurs de secours seront alimentés par un carburant diesel. Leur démarrage sera automatisé : ils seront capables de fournir de l'électricité de secours en moins de 15 secondes [4].

La puissance unitaire de ces générateurs est de 2 000 kilo watt (kw).

1.4.1.2 Système de génération de vapeur

La vapeur haute pression (H.P) (environ 120 bars) sera produite par deux chaudières HP autonomes fonctionnant au gaz naturel. Il est envisagé la mise en place de deux chaudières de production de vapeur, d'une capacité de production unitaire d'environ 150 tonnes par heure. Cette vapeur HP sera utilisée principalement pour le fonctionnement de l'usine d'urée, et pour le démarrage de l'usine d'ammoniac.

Deux chaudières de récupération de chaleur provenant du système de cogénération des turbines à gaz permettront également la production de chaleur moyenne pression (MP). Leur capacité unitaire sera de 75 t/h (Tonne par heure) [5].

En effet, pour chaque unité de production d'ammoniac, 3 chaudières de récupération de chaleur seront installées :

- Une chaudière de récupération de chaleur du fluide de procédé en sortie du reforming secondaire.
- Une chaudière de récupération de chaleur du fluide de procédé en sortie du réacteur de conversion de monoxyde de carbone (CO) à haute température.
- Une chaudière de récupération de chaleur du fluide de procédé en sortie du réacteur de synthèse d'ammoniac.

1.4.1.3 Système de dessalement d'eau de mer

Trois unités de dessalement d'eau de mer sont installées sur le site.

Le procédé utilisé est vraisemblablement par distillation à effets multiples avec thermo compression. Ce système comprend une série de cellules de distillation, fonctionnant chacune à une pression et une température inférieure à celles de la précédente. Un moyen de compression de vapeur permet ensuite de comprimer la vapeur d'eau émise par la dernière cellule, ce moyen de compression est constitué d'un thermo compresseur [6].

La capacité des cuves combinées devra correspondre à la somme des utilisations suivantes :

- 12 heures de stockage d'eau de lutte contre l'incendie (sur la base d'un besoin en eau de 1 200 m³/h (mètre cube par heure) soit environ 15 000 m³, conformément à la réglementation algérienne en matière d'incendie et de sécurité, qui sert de référentiel réglementaire.

- 24 heures de stockage d'eau dessalée, sur la base d'une consommation en eau de 125 % de la consommation normale.

1.4.1.4 Système de refroidissement

Les installations dégageant de la chaleur sont refroidies par un système de circulation d'eau. L'eau de mer est la source froide des systèmes de refroidissement.

La prise d'eau de mer se fera à un minimum de 10 m (mètre) de profondeur.

On distingue deux systèmes de refroidissement :

– Système de refroidissement à circuit fermé. Ce système est composé de deux réseaux : un réseau d'eau classique et un réseau d'eau d'urgence.

- Le premier réseau d'eau servira à refroidir les principaux échangeurs de procédés.
- Le second réseau d'eau est utilisé pour le refroidissement des équipements des unités de production d'ammoniac qui doivent fonctionner en cas de coupure d'énergie (équipements essentiels).

– Système de refroidissement à l'eau de mer à circuit ouvert. L'eau de mer est utilisée pour refroidir la plupart des installations, en particulier celles des unités de production d'ammoniac :

- Condenseur d'ammoniac.
- Condenseur de la turbine (à vapeur) du compresseur d'air.
- Condenseur de la turbine (à vapeur) du compresseur de gaz de synthèse.
- Condenseur de la turbine (à vapeur) du compresseur d'ammoniac.
- Condenseur de la turbine (à vapeur) du compresseur de CO₂.
- Condenseur de la turbine (à vapeur) de la pompe du réseau de refroidissement à circuit fermé.

1.4.2 Unité de lavage des condensats

Ces condensats traités, ainsi que l'eau dessalée produite sur le site, sont dirigés dans deux réservoirs intermédiaires d'eau. Un traitement final de cette eau est réalisé dans une unité de lavage « Polishing unit » et stockée dans deux cuves de stockage d'eau traitée. Les caractéristiques de pureté de cette eau traitée permettent ensuite sa réutilisation comme eau d'alimentation des chaudières pour le système de génération de vapeur.

1.4.3 Unité de génération de gaz

Parmi les utilités, différents gaz sont nécessaires au fonctionnement des unités d'ammoniac et d'urée :

- de l'air industriel.
- des gaz inertes.
- de l'azote.

L'air industriel, pour les instruments et le fonctionnement des installations, est généré par un système centralisé sur le site. Il est également possible d'alimenter le site en air industriel à partir du compresseur à air de l'unité d'ammoniac. Le stockage d'air industriel correspondra à une réserve de 30 minutes.

Les gaz inertes nécessaires au projet sont fournis par externalisation, car l'azote liquide est disponible en grande quantité dans la zone industrielle d'Arzew.

Par ailleurs, deux cuves de stockage d'azote liquide, de capacité unitaire de 100 m³, fourniront l'azote nécessaire au fonctionnement et aux interruptions de production. La pureté de l'azote stocké sera de plus de 99,99 % et permettra la préservation des catalyseurs. Un vaporiseur est associé aux deux cuves de stockage d'azote liquide.

1.5 Capacité de stockage

Le complexe, dans sa phase de commercialisation, est composé de quatre unités comprenant deux lignes de production, mises à l'essai expérimental, depuis l'achèvement de la réalisation du projet au début du 4^{ème} trimestre 2014. Dans la même période d'essais mécaniques, le complexe a entamé l'opération de stockage estimée à 150 000 tonnes, répartis sur deux hangars réservés à l'urée comme il est illustré dans la Fig.1.3. L'entreprise AOA accorde aujourd'hui une grande importance au développement de l'agriculture en Algérie.



Fig.1.3 -Hangar de stockage des granulés d'urée (engrais)

1.6 Organisation Travail-Sécurité

Le complexe AOA comporte six directions et un département de sécurité répartis selon l'organigramme de la fig.1.4 :

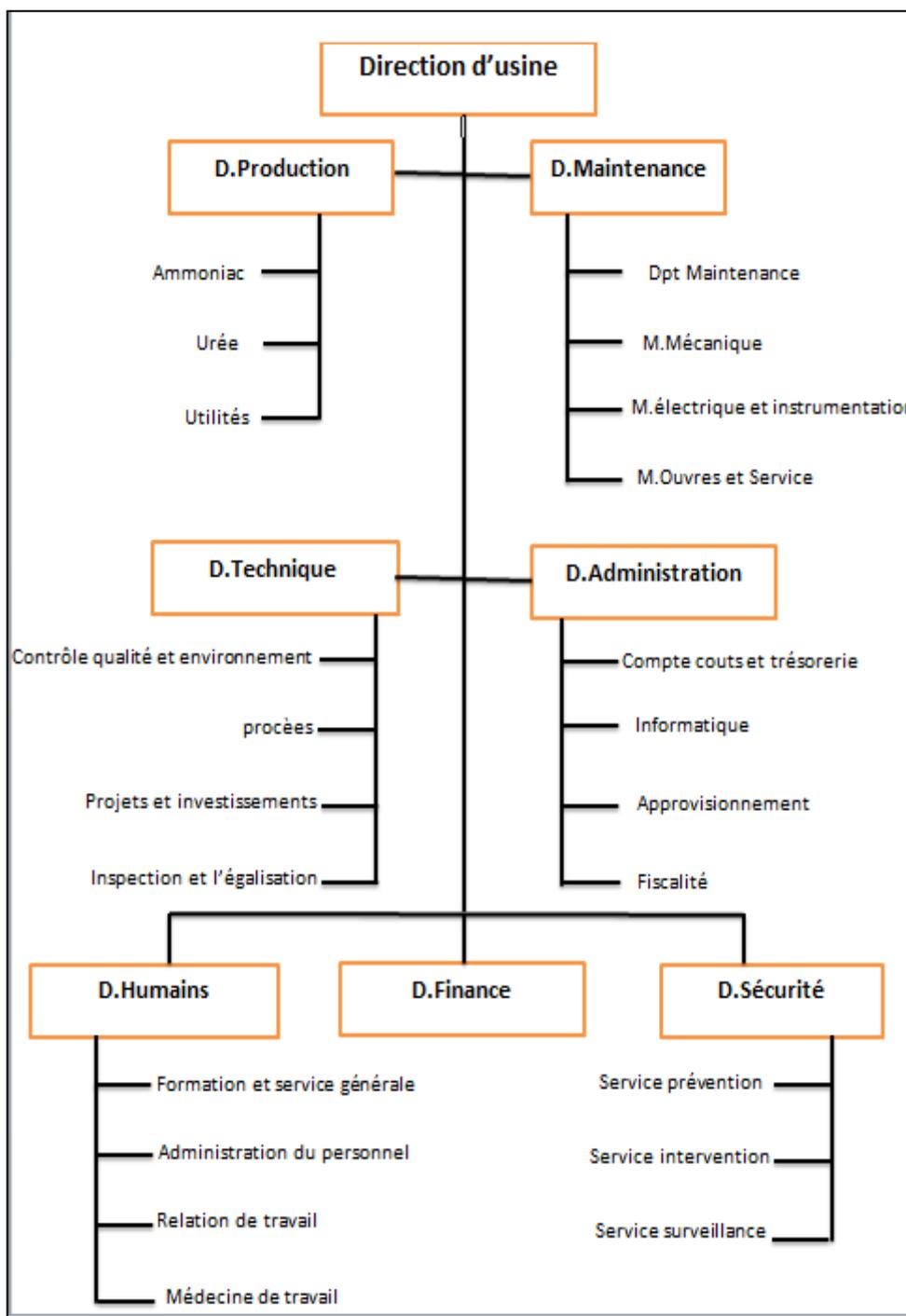


Fig.1.4 - Organigramme du complexe AOA

1.7 Politique Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE)

Le complexe Al Djazairia Omania Lil Al Asmida s'engage à tout mettre en œuvre pour préserver la santé au travail, assurer la sécurité de ses activités et protéger l'environnement tout en maintenant la qualité de ses produits, ainsi que la performance économique de l'entreprise, afin d'atteindre ses objectifs, AOA s'engage à atteindre :

1.7.1 La conformité

Se conformer aux dispositions légales et réglementaires applicables en matière de santé, sécurité et environnement.

Elaborer des programmes et des procédures pour assurer la conformité et la mise en œuvre des meilleurs pratiques industrielles[7].

1.7.2 La prévention

Développer une démarche préventive de management spécifiquement conçue pour empêcher les activités et/ou les conditions qui constituent une menace à la santé des personnes, à la sécurité et à l'environnement[8].

Réduire au maximum le risque afin de protéger ses employés et les communautés avoisinantes en utilisant des modes opératoires appropriés et des technologies sûres[9].

1.7.3 La formation

Assurer la formation des employés en matière de santé et environnement et mettre en œuvre tous les moyens pour sensibiliser et promouvoir les connaissances du personnel aux exigences du système santé, sécurité et environnement[10].

1.7.4 La communication

Développer des procédures d'information et de communication en matière de santé, sécurité et d'environnement pour ses employés, ses partenaires et toutes autres parties tierces.

1.7.5 L'amélioration continue

Veiller à l'amélioration continue de ses performances en matière de santé, sécurité et environnement en analysant systématiquement l'efficacité du plan d'action permettant d'atteindre les objectifs fixés.

Mener des audits de sécurité et environnementaux et évaluer le risque du procédé par une expertise interne et externe.

1.8 Conclusion

La création de AOA et ces unités pétrochimiques ont pour objectif de développer et diversifié l'investissement dans le secteur énergétique national et ainsi satisfaire la demande domestique à moitié prix, par rapport au prix à l'exportation notant que la mise en service de cette unité a été programmée pour célébrer la 44^{ème} anniversaire de la nationalisation des hydrocarbures.

CHAPITRE 2 : Généralités sur l'ammoniac

2.1 Introduction

L'ammoniac est l'un des plus importants produits chimiques de synthèse et se situe au 2^{ème} rang derrière l'acide sulfurique. L'azote est un élément essentiel à l'industrie des engrais. Malheureusement, il n'existe pratiquement pas de composés azotés sous forme de gisements économiquement exploitables et il est donc nécessaire de recourir à une synthèse industrielle. Pour des raisons de coût, les composés azotés recherchés sont synthétisés à partir d'ammoniac, dont 87 % de la production sont utilisées pour la fertilisation des sols. Les procédés de fabrication n'ont pas subi de grands changements lors des dix dernières années, l'objectif principal des améliorations apportées restant toujours la réduction de la consommation énergétique et l'augmentation du rendement de conversion en ammoniac [11].

2.2 Définition et structure d'ammoniac

L'ammoniac est un composé chimique, de formule NH_3 (L'hydrogène provient du gaz naturel et l'azote provient de l'air). Il est une molécule pyramidale à base triangulaire : l'atome d'azote (N) est au sommet et les trois atomes d'hydrogène (H) occupent les trois coins (sommets) de la base triangulaire équilatérale, voir Fig.2.1 [12].

L'azote et les trois atomes d'hydrogène réagissent sur le catalyseur de fer à une température élevée de 400 à 500°C (à l'origine jusqu'à 600°C) et à des pressions supérieures à 100 bars, avec recyclage de la partie non convertie du gaz de synthèse et séparation de l'ammoniac.

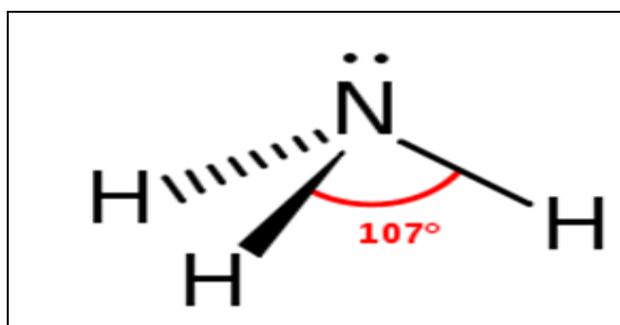


Fig.2.1- Structure d'ammoniac

2.3 Historique

Le nom d'ammoniac est dérivé de l'oasis d'Ammon (aujourd'hui Siwa) en Égypte, où les sels d'ammoniac étaient déjà connus dans l'Antiquité et les Arabes connaissaient également le carbonate d'ammonium.

Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, l'ammoniac était produit par distillation du purin ou du fumier puis il a été extrait des eaux-vannes (eaux usées résidentielles) dans lesquelles il se forme par décomposition de l'urée. A partir de 1850, l'ammoniac est obtenu comme sous-produit lors de la production du gaz de ville par carbonisation de la houille menant à la formation d'ammoniac

qui va se condenser sous forme d'eau ammoniacale. En 1909, Robert Le Rossignol développe la première synthèse de l'ammoniac par hydrogénation du diazote sous haute pression en utilisant des catalyseurs à base d'oxyde de fer. Ce procédé est acheté par BASF et développé à l'échelle industrielle en 1913 par Karl Bosch. Encore utilisé aujourd'hui à l'échelle industrielle, il porte désormais le nom de procédé Haber-Bosch[11].

2.4 Production mondiale d'ammoniac

Du fait d'une demande toujours plus importante au fil des ans, la production industrielle mondiale n'a cessé de croître.

La Fig.2.2 exprime les grands producteurs d'ammoniac dans le monde en 2012 [13].

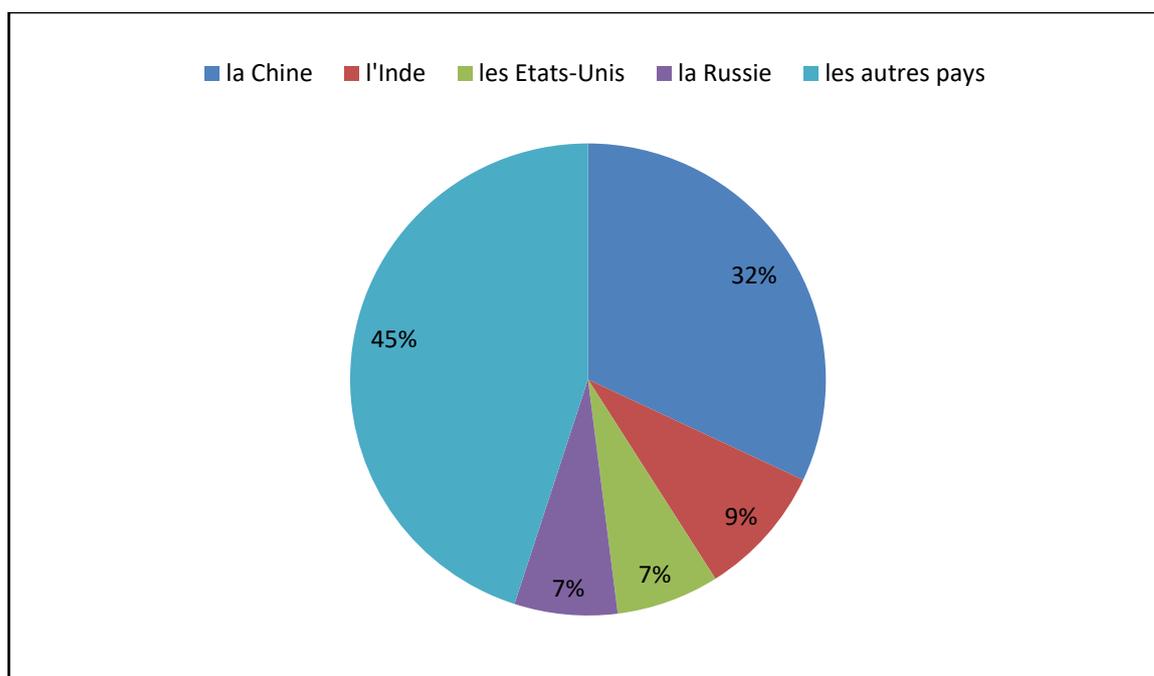


Fig.2.2 - La production mondiale d'ammoniac en 2012

La Fig.2.3 et la Fig.2.4 indiquent les principaux pays exportateurs et importateurs respectivement en millions de tonnes d'ammoniac en 2020 [14] :

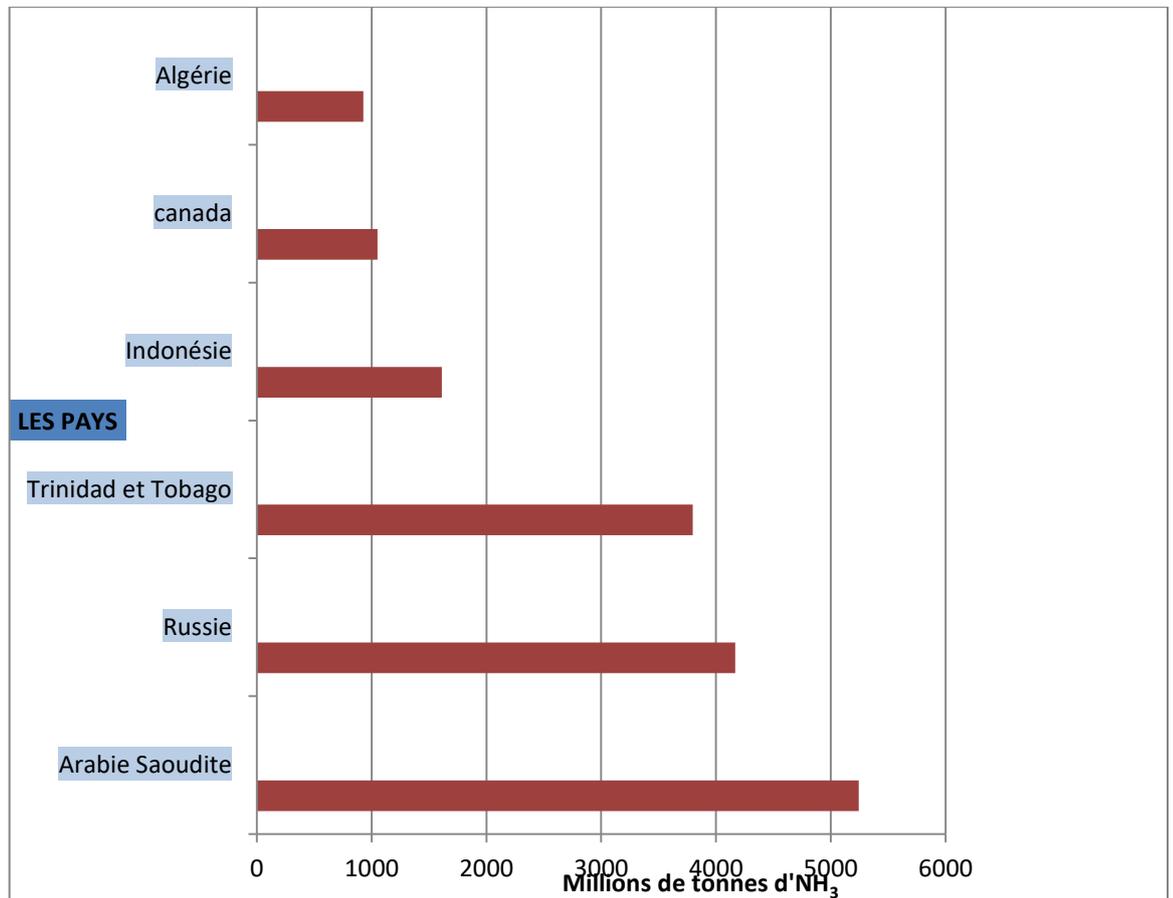


Fig.2.3 - Principaux pays exportateurs d' NH_3 en 2020

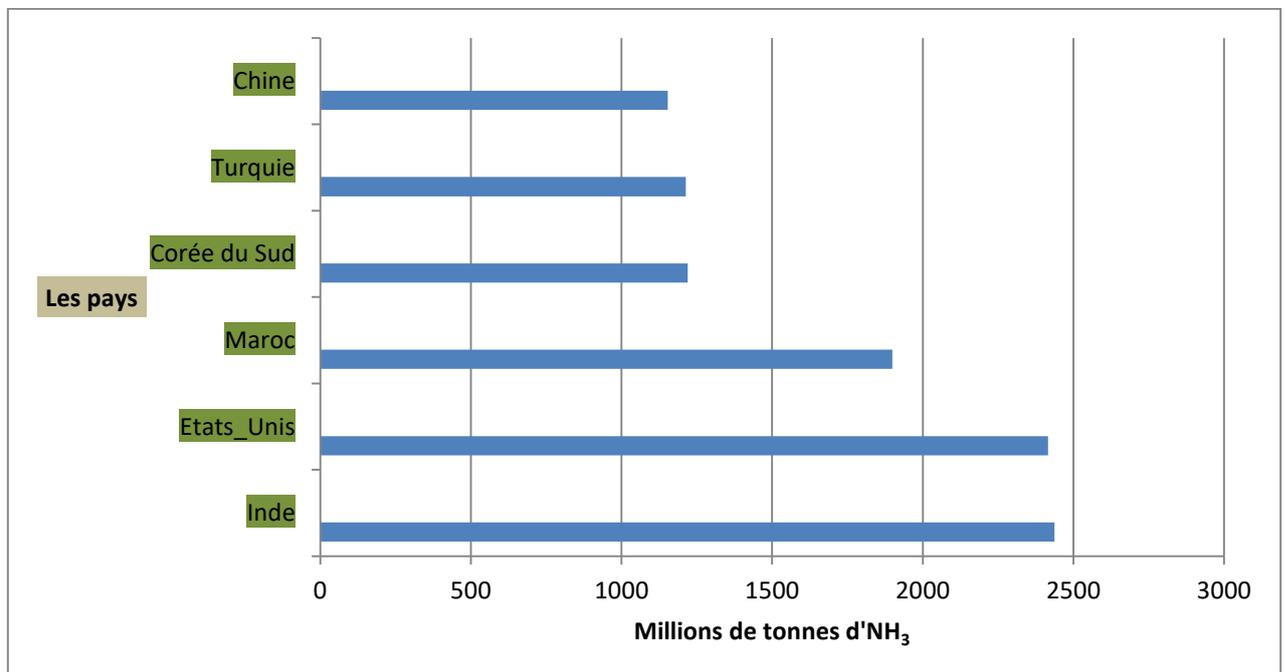


Fig.2.4 - Principaux pays importateurs d' NH_3 en 2020

Le tableau 2.1 ci-dessous montre les capacités de production et nombre d'usines, et les productions dans l'Union européenne.

Tableau 2.1 - Capacités de productions et nombre d'usines dans l'Union européenne[15].

| | Capacité, En 2013 (kt/an) | Nombre d'usines En 2013 | Production En 2020 (kt) | | Capacité, En 2013 (kt/an) | Nombre d'usines En 2013 | Production En 2020 (kt) |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Allemagne | 3438 | 5 | 2833 | Bulgarie | 1118 | 3 | * |
| Pologne | 3210 | 5 | 2643 | Belgique | 1020 | 2 | * |
| Pays Bas | 2717 | 2 | * | Espagne | 609 | 3 | 437 |
| Roumanie | 2176 | 6 | 850 | Slovaquie | 429 | 1 | 355 |
| France | 1495 | 4 | 1000 | Croatie | * | * | 452 |
| Lituanie | 1118 | 1 | 1024 | Hongrie | * | 2 | 436 |

2.5 L'ammoniac dans l'industrie

La production industrielle de l'ammoniac se fait essentiellement par synthèse directe à partir de dihydrogène et de diazote. L'hydrogène peut venir du méthane et l'azote de l'air. La mise au point du premier réacteur est l'œuvre de chimiste allemands et est encore secrète lorsqu'elle aboutit en 1913 avec le procédé *Haber-Bosch* portant le nom de ses chimistes développeurs du catalyseur à base de fer (Fe) et nickel (Ni) et du procédé en réacteur-tube à une température de 550 °C[16]. La synthèse de l'ammoniac est exothermique, dégageant 12,9 calories par mole à la pression atmosphérique. La fig.2.5 représente fabrication de l'ammoniac, via le procédé Haber Bosch.

2.6 Caractéristique de l'ammoniac

L'ammoniac NH₃ existe naturellement sous forme de gaz dans les conditions normales de température et de pression (C.N.T.P.) et se liquéfie facilement à une légère surpression. Il est produit par la décomposition de matières organique, soluble dans l'eau, toxique avec une forte odeur piquante, inflammable, incolore, basique avec une densité de 0,77g/l (gramme par litre) soit plus léger que l'air et hygroscopique[17].

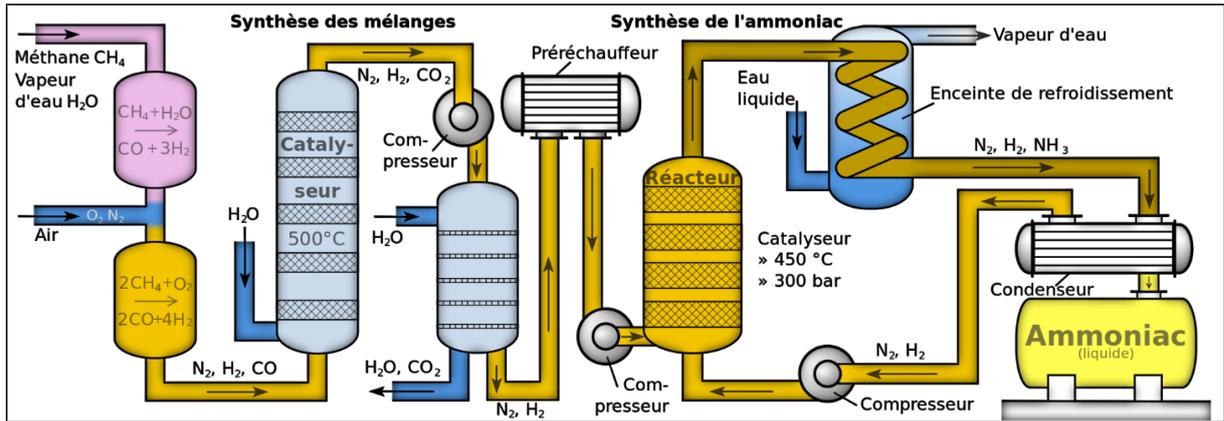


Fig.2.5 - Fabrication de l'ammoniac à partir de méthane et d'air, via le procédé Haber Bosch.

2.7 Propriétés physiques

Le tableau 2.2 nous montrons les propriétés physiques d'ammoniac.

2.8 Propriétés chimiques

A la température ordinaire, le gaz ammoniac est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et azote ne commence que vers 450-500°C ; en présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc et l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et elle est presque complète vers 500-600°C.

Le gaz ammoniac brûle à l'air au contact d'une flamme en donnant principalement de l'azote et de l'eau[18].



2.9 Les avantages de l'ammoniac

- Il n'est pas corrosif
- Il tolère l'humidité
- Il est bon marché et il existe de nombreux fournisseurs[19].

2.10 L'inconvénient de l'ammoniac

- Sa toxicité[19].

Tableau 2.2 - Propriétés physiques d'ammoniac

| | |
|--|---|
| Masse molaire | 17.0312 g/mol |
| Géométrie de la molécule | Distance interatomique : N-H : 101.5 pm Angle HNH : 106.6° |
| Volume moléculaire à 0 °C, 101.3 kPa | 22.08 l/mol |
| Constante des gaz K | 0.48818 kPa m ³ kg ⁻¹ k ⁻¹ |
| Densité du liquide à 0 °C, 101.3 kPa | 0.6386 g/cm ³ |
| Densité du gaz à 0 °C, 101.3 kPa | 0.7714 g/l |
| Pression critique | 11.28 MPa |
| Température critique | 132.4 °C |
| Densité critique | 0.235 g/cm ³ |
| Volume critique | 4.225 cm ³ /g |
| Compressibilité critique | 0.242 |
| Conductivité thermique critique | 0.522 kJ k ⁻¹ h ⁻¹ m ⁻¹ |
| Viscosité critique | 23.90 x 10 ⁻¹ MPa. S |
| Point de fusion (point triple) | -77.71 °C |
| Chaleur de fusion (à 101,3 kPa) | 332.3 kJ/kg |
| Pression de vapeur (point triple) | 6.077 kPa |
| Point d'ébullition (à 101,3 kPa) | -33.43 °C |
| Chaleur de vaporisation (à 101,3 kPa) | 1370 kJ/kg |
| Enthalpie standard de formation à 25 °C | -16.22 kJ/mol |
| Entropie standard à 25 °C, 101.3 kPa | 192.731 J mol ⁻¹ K ⁻¹ |
| Enthalpie libre de formation Gaz à 25 °C, 101.3 kPa | -16.391 kJ/mol |
| Pouvoir calorifique brut, PCS | 2.543 KJ/g |
| Conductivité électrique à -35 °C, très pure | 1x 10 ⁻¹¹ Ω ⁻¹ cm ⁻¹ |

2.11 Utilisation d'ammoniac

- L'ammoniac est soit converti en engrais solides (urée, nitrate d'ammonium, phosphate, sulfate), soit directement appliqué sur les sols arables.
- L'utilisation industrielle de l'ammoniac est d'environ 15 % de la production de plastiques et de fibres, comme les polyamides, les résines urée-formaldéhyde-phénol, les résines à base de mélamine, les polyuréthanes et le poly acrylonitrile.
- La fabrication d'explosifs, d'hydrazine, d'amines, d'amides, nitriles et autres composés organiques azotés, qui servent d'intermédiaires pour les teintures et les produits pharmaceutiques.
- Dans le secteur de l'environnement, l'ammoniac est utilisé dans divers procédés pour éliminer le SO_x des gaz de combustion des centrales électriques à combustibles fossiles. Le sulfate d'ammonium qui en résulte est vendu comme engrais.
- L'ammoniac est utilisé dans un grand nombre d'unités de réfrigération industrielles et commerciales et d'installations de climatisation[19].

2.12 Catalyseurs

Le catalyseur de synthèse de l'ammoniac peut être considéré comme le cœur d'une usine d'ammoniac. Pour une pression de fonctionnement donnée et la production souhaitée, il détermine la plage de température de fonctionnement, le débit de gaz de recyclage et les besoins en réfrigération. Par conséquent, il détermine directement la conception des cuves et des échangeurs dans la boucle de synthèse. Il influence aussi indirectement l'exigence de pureté du gaz d'appoint, et donc la pression de fonctionnement, le coût d'investissement et la consommation d'énergie pour la synthèse[20].

Il existe plusieurs formes de catalyseur voir fig.2.6

Les catalyseurs industriels pour la synthèse de l'ammoniac doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- Une forte activité du catalyseur aux températures de réaction les plus basses possibles afin de profiter de la situation d'équilibre thermodynamique favorable à basse température.
- La plus grande insensibilité possible aux poisons catalytiques contenant de l'oxygène et du chlore.
- Une longue durée de vie, qui est déterminée essentiellement par la résistance à la dégradation thermique et à l'empoisonnement irréversible.

- Résistance mécanique. Une résistance à la pression et à l'abrasion insuffisante peut entraîner une augmentation excessive de la perte de charge du convertisseur, et donc à un arrêt prématuré de l'installation[21].



Fig.2.6 – Les différentes formes de catalyseurs

2.12.1 Composition du catalyseur au fer

Le catalyseur utilisé dans le procédé de Haber Bosch est à base de fer (fig2.7). Sa composition est indiquée dans le tableau.2.3.



Fig.2.7 - Catalyseur à base de fer

Tableau 2.3 - Composition du catalyseur au fer classiquement utilisé dans le procédé Haber Bosch

| Composant | % massique |
|-------------------------|------------|
| Fe_3O_4 | 94.3 |
| Al_2O_3 | 2.3 |
| CaO | 1.7 |
| K_2O | 0.8 |
| MgO | 0.5 |
| SiO | 0.4 |

2.13 Analyse de l'ammoniac

L'ammoniac est facilement détectable dans l'air à raison de quelques parties par million par son odeur caractéristique et sa réaction alcaline[22].

2.13.1 Les méthodes utilisées pour la détermination automatique de l'ammoniac

- Acidimétrie et analyse volumétrique par absorption.
- Absorption infrarouge.
- Mesure de la conductivité thermique.
- Mesure de la conductivité électrique.
- Mesure de la chaleur de neutralisation.
- Mesure de la densité (pour l'ammoniac aqueux).[22]

2.14 Aspects liés à l'environnement, à la sécurité et à la santé

2.14.1 Aspects environnementaux de l'ammoniac et de la manutention de l'ammoniac

Mesurée par son impact environnemental global

- Pollution de l'air, de l'eau et du sol,
- Consommation de matériaux et d'énergie

Les émissions de NO, provenant de la production d'ammoniac par rapport à la quantité totale provenant des activités humaines, est en fait une quantité marginale. Seulement 0,16 %

environ des émissions anthropiques de NO (Oxyde d'azote), proviennent de la production d'ammoniac[19].

2.14.2 Les caractéristiques de sécurité

Dans la production d'ammoniac, trois risques potentiels peuvent être identifiés :

- Risque d'incendie/explosion provenant du système d'alimentation en hydrocarbures.
- Risque d'incendie/explosion dû à des fuites dans la production et la purification du gaz de synthèse.
- Risque toxique lié au rejet d'ammoniac liquide de la boucle de synthèse.

2.14.3 Aspects de santé et toxicité de l'ammoniac

Dans la production, le stockage et la manipulation de l'ammoniac, le principal danger potentiel pour la santé est la toxicité du produit lui-même.

2.14.3.1 Toxicologie

L'ammoniac est un fort irritant local. Sur les membranes muqueuses, l'hydroxyde d'ammonium alcalin se forme, ce qui dissout les protéines cellulaires et provoque une grave nécrose (effet corrosif).

L'organe cible principal est le système pulmonaire, et les symptômes suivants peuvent être observés : pharyngite, infection des voies respiratoires, laryngite, trachéobronchite, nausées, vomissements, salivation accrue, barytine réflexive, etc.[23].

2.15 Précautions et manipulation

L'équipement de protection individuelle (E.P.I.) crée une barrière entre le produit chimique et le corps humain. Des lunettes de protection, des gants en caoutchouc et d'autres vêtements de protection résistant aux produits chimiques sont nécessaires pour manipuler l'ammoniac anhydre.

Il est recommandé de jamais portez de lentilles de contact lorsque vous manipulez de l'ammoniac anhydre, car elles peuvent retenir le gaz et geler les lentilles sur l'œil. Le contact avec une petite quantité d'ammoniac anhydre peut rendre une personne aveugle et la défigurer de façon permanente[16].

2.16 Conclusion

L'ammoniac est le deuxième produit chimique de synthèse le plus important ; plus de 90 % de la consommation mondiale est fabriquée à partir de l'azote.

Les composés azotés ont été utilisés en quantités croissantes comme ingrédient des engrais minéraux.

La formation naturelle de l'ammoniac est principalement due à la décomposition de matières organiques contenant de l'azote ou à l'activité volcanique.

Malgré les avantages de ce gaz pour la vie et la nature mais il y a aussi des inconvénients, car il est dangereux pour la santé d'humaine.

Chapitre3 : Description du procédé de la boucle de la production de l'ammoniac

3.1 Introduction

De 1950 à 1980, la demande d'ammoniac a augmenté de façon spectaculaire, nécessitant des usines plus grandes et plus économes en énergie. Ces décennies ont également vu un changement dans la philosophie de design. Auparavant, une usine d'ammoniac était considérée comme un ensemble d'unités individuelles, telles que la préparation de gaz, la purification de gaz, la compression de gaz et la synthèse d'ammoniac. De nouvelles innovations et conceptions globales connectent les cellules de processus de la manière la plus efficace et la plus efficiente[24].

3.2 Matières premières utilisées dans la fabrication de l'ammoniac

3.2.1 Le gaz naturel

Le gaz naturel est la source essentielle d'hydrogène destiné à la synthèse d'ammoniac, dont sa composition est donnée dans le tableau 3.1

Tableau 3.1 - Composition du gaz naturel du complexe -AOA- (Algérie)

| Composition | Valeurs en % vol |
|---|------------------|
| Méthane (CH ₄) | 83 |
| Ethane (C ₂ H ₆) | 7,91 |
| Propane (C ₃ H ₈) | 1,51 |
| Butane (C ₄ H ₁₀) | 0,308 |
| Pentane (C ₅ H ₁₂) | 0,065 |
| Hexane (C ₆ +) | 0,035 |
| Azote (N ₂) + hélium (He) | 5,38 |
| Dioxyde de carbone (CO ₂) | 0,235 |
| Sulfure d'hydrogène (H ₂ S) | 0,00 ppm |

3.2.2 L'eau utilisée sous la forme physique

- Liquide ; utilisée dans le système de refroidissement des équipements de l'unité
- Vapeur ; utilisée pour les différentes réactions chimiques et comme source d'énergie

pour les turbocompresseurs[25].

3.2.3 L'air

L'azote est un élément essentiel dans la synthèse de l'ammoniac, provient de l'air soit par distillation ou par procédé d'élimination d'oxygène en le brûlant par un hydrocarbure.

3.4 Description du procédé de fabrication de l'ammoniac du complexe –AOA-

3.4.1 Compression et désulfuration du gaz naturel

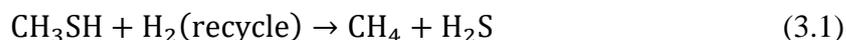
Le gaz naturel arrivant des limites batteries à une pression de 36 bars effectif et une température de 42°C max, est comprimé dans le compresseur de gaz naturel jusqu'à 41 bars effectifs après élimination de toute trace de liquide entraîné par le gaz dans le séparateur [11].

Le gaz est ensuite préchauffé jusqu'à 365°C dans le préchauffeur A et B, puis envoyé au réacteur de désulfuration A et B pour éliminer toute trace de soufre.

Le réacteur est constitué de deux lits catalytiques fixes comme il est illustré dans la Fig.3.1 ou s'effectuent les réactions de désulfuration suivantes :

3.4.1.1 Premier réacteur

Il est formé d'un catalyseur d'hydrogénation à base de cobalt molybdène (Co-Mo) sur alumine.



3.4.1.2 Deuxième réacteur A et B

Ce lit catalytique de réacteur est formé d'un catalyseur à base d'oxyde de zinc (ZnO) qui joue le rôle de l'adsorbant du composé sulfureux, d'un volume de 9.9 m³.



Dans cette section, la teneur du soufre est réduite de < 0.5 ppm

3.4.2 Reformage

Le gaz naturel contenant plus de 80% de méthane est reformé en deux étapes dans deux équipements différents en l'occurrence[26] :

3.4.2.1 Le reformage primaire

Le gaz désulfuré est mélangé avec la vapeur à moyenne pression (35 bars) dans un rapport vapeur/gaz naturel = 3/1. Puis préchauffé dans le faisceau chaud de la zone de conversion du four, par les gaz de carneau jusqu'au 505°C avant d'être distribué dans les 288 tubes catalytiques du four du reforming primaire.

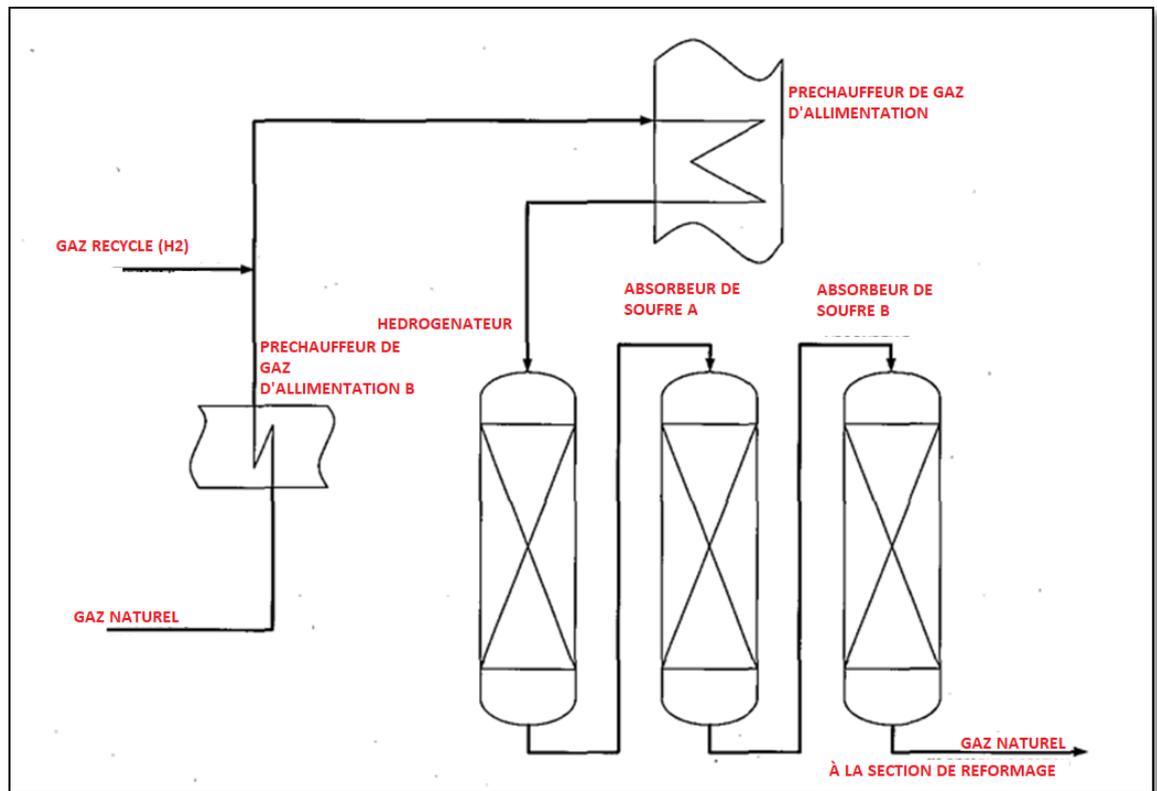
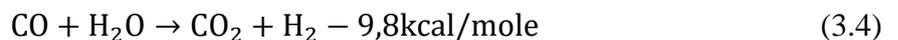


Fig.3.1 - Section de désulfuration

Ces tubes sont remplis de catalyseur à base de Nickel et dans lesquels s'effectuent les réactions suivantes :



Réaction globale :



La réaction globale étant endothermique, 720 brûleurs sont prévus pour assurer l'apport d'énergie nécessaire à la réaction qui s'effectue à une température de 800°C, en utilisant comme carburant l'oxygène de l'air.

A la sortie des tubes, le gaz partiellement reformé (13% en CH₄) est collecté dans des collecteurs de sortie ensuite remonte à travers les colonnes montantes pour arriver à la ligne de transfert avec une température de 847°C, puis le gaz est envoyé dans le réacteur du reforming secondaire[27].

3.4.2.2 Le reformage secondaire

Le gaz entrant avec une température d'environ 800°C et contenant les 13% de CH₄ non converti, va subir un reforming plus poussé dans le réacteur. L'air du procédé qui provient du compresseur d'air et la vapeur supplémentaire sont préchauffés à 550°C dans la section de convection du four de reforming primaire et entrant dans la chambre de combustion d'où ils se

combinent avec le gaz, favorisant ainsi un deuxième reformage à travers deux lits catalytique fixes comme illustré à la Fig.3.2.

- Premier lit :



Ce lit est en base de nickel de 5.03 m³ de volume.

- Deuxième lit :



Réaction globale :



Le catalyseur utilisé est à base d'oxyde de Nickel (NiO) de 24 .1 m³ de volume. A la sortie du reforming secondaire, la composition du gaz de process ne contient que 0.5 % de CH₄ ; 24.2 % de N₂ en plus de 54 % H₂ ; 12.9 % CO ; 7.48 % CO₂ et 0.92 % H₂O.

L'introduction de l'azote de l'air permet en outre d'obtenir le rapport H₂/N₂ nécessaire pour le gaz de synthèse.

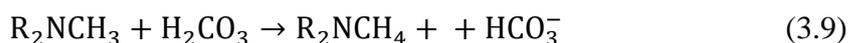
L'effluent contenant 0,5 % de CH₄ est refroidi dans deux échangeurs de récupération jusqu'à 360°C avant de passer dans la section de convergence.

3.4.3 Conversion du CO en CO₂ (réaction de Shift)

Le monoxyde de carbone dans le gaz de processus sortant de la section de reformage est converti en dioxyde de carbone et hydrogène dans un réacteur catalytique constitué de deux sections superposées. Un schéma de procédé est donné à la Fig.3.3.

3.4.4 Décarbonatation (extraction du gaz carbonique)

Elle a pour but de réduire la teneur en CO₂ de 17,88 % à 0,05 % dans une colonne d'absorption en utilisant la Méthyl di-éthanol amine (M.D.E.A.) à 40% en poids. Le gaz riche en CO₂ entre par le bas de la colonne garnie de 4 lits perforés où va s'effectuer l'absorption à contre-courant selon les réactions suivantes :



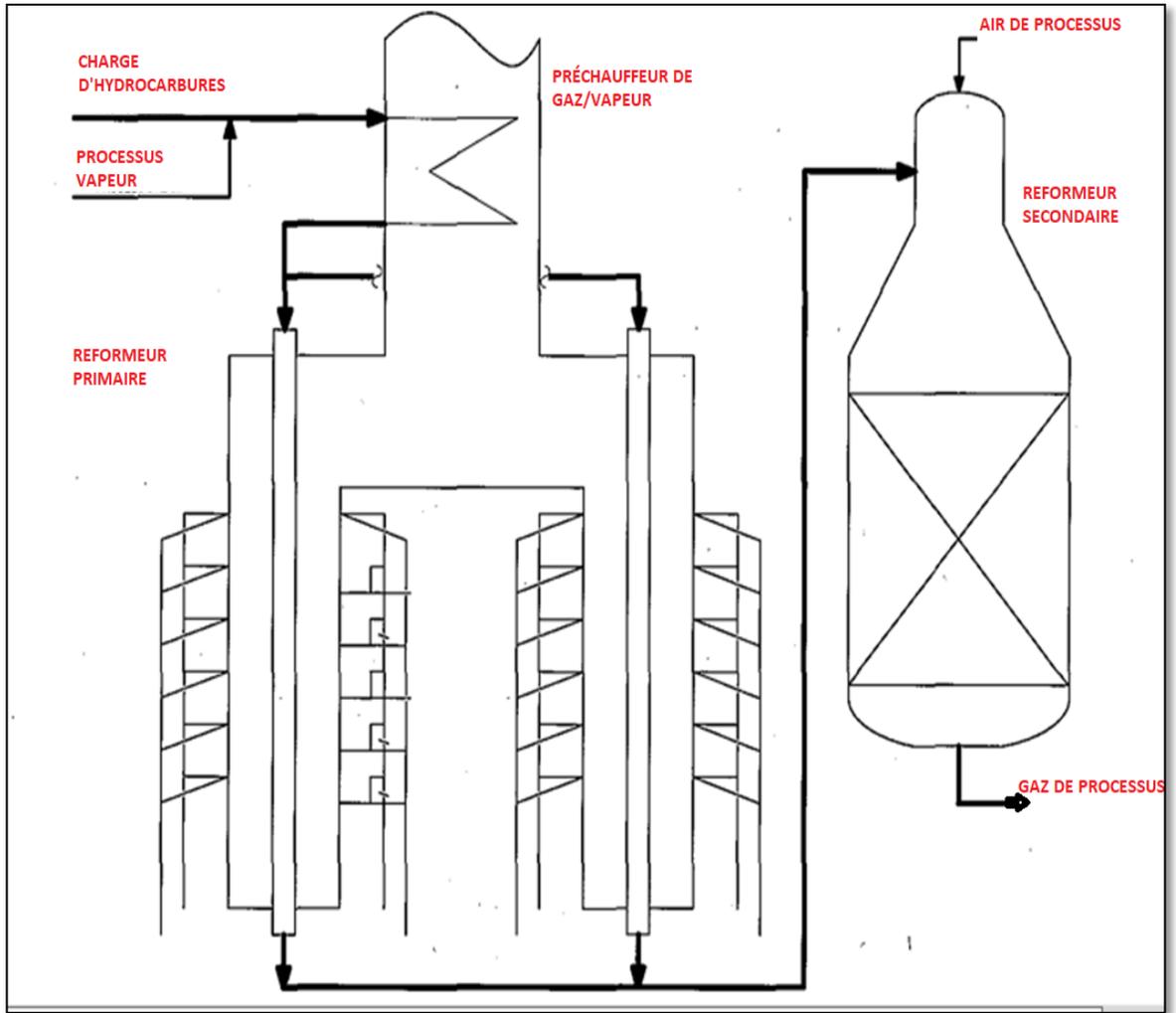


Fig.3.2 - Section de reforming

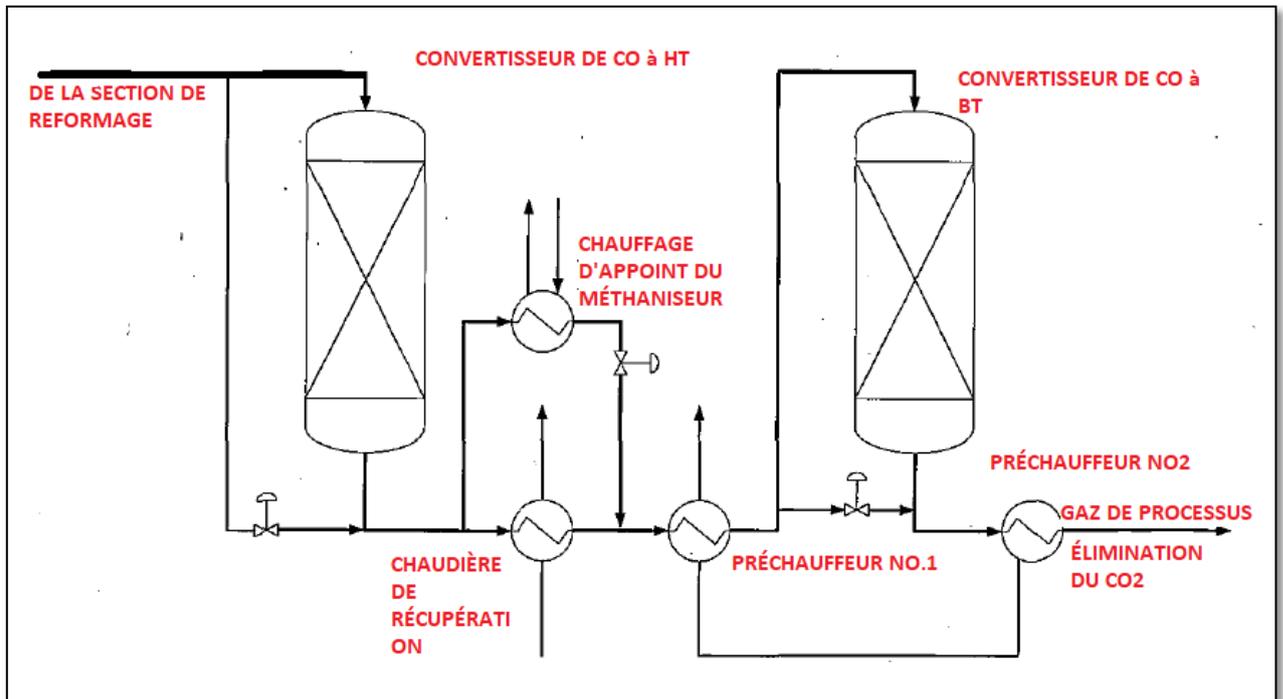


Fig.3.3 - Section de shift

d'hydrogène et autre d'azote dans un rapport de 3/1 et environ 1.34 % de gaz inerte constitué de CH₄, He et Ar (Argon).

Le gaz du méthaneur à une température de 316°C, à la chaleur libérée par la réaction, va subir un refroidissement dans l'échangeur jusqu'à 36°C, puis il est envoyé vers le ballon de séparation pour séparer l'eau formée du gaz de synthèse. La partie de la méthanation est illustré à la Fig.3.5.

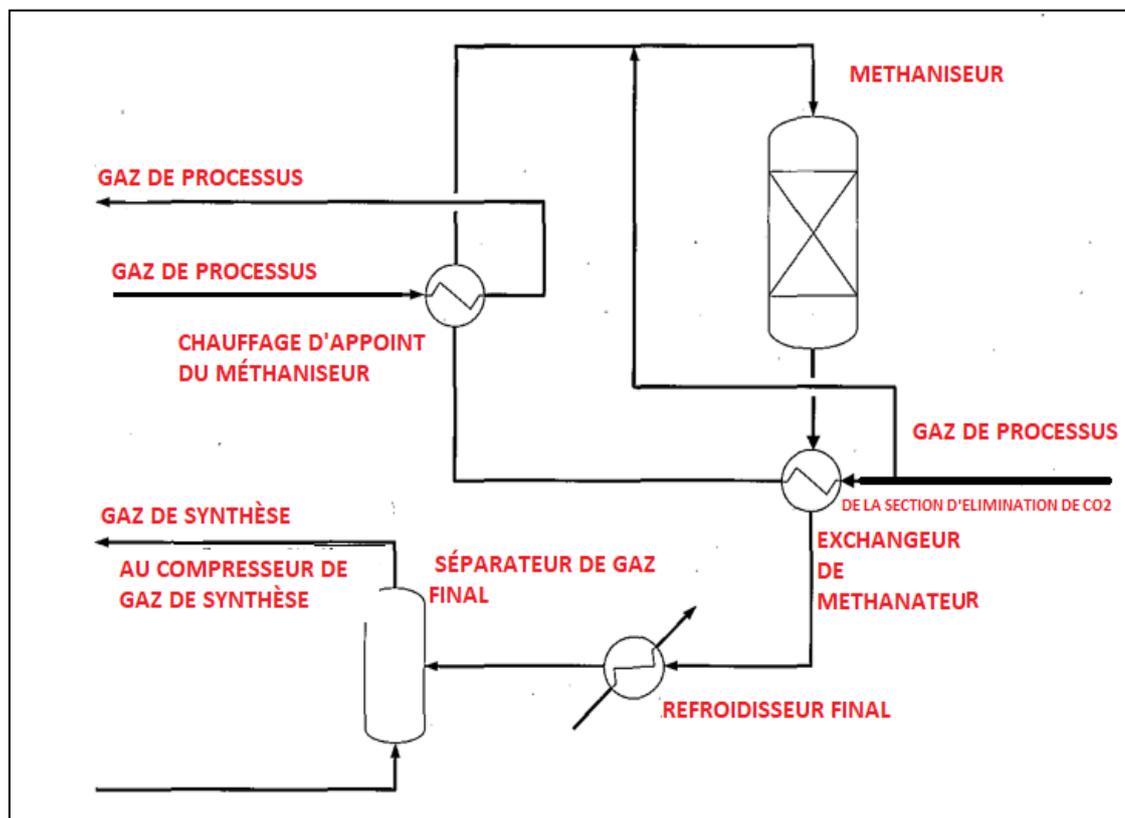


Fig.3.5 - Section de méthanisation

3.4.6 Compression de gaz de synthèse

Le gaz de synthèse est comprimé de 26 kg/cm² à 182 kg/cm² (pression de la boucle de synthèse de l'ammoniac) dans le compresseur de gaz en deux carters de type centrifuge, entraîné par la turbine à vapeur HP. La partie du carter dernier forme le compresseur de recirculation de la boucle de synthèse de l'ammoniac dans laquelle le gaz de synthèse est comprimé jusqu'à 192 kg/cm².

3.4.7 Section de synthèse de l'ammoniac

3.4.7.1 Synthèse et réfrigération de l'ammoniac

Le procédé de synthèse de l'ammoniac se déroule dans le convertisseur de synthèse de l'ammoniac conformément au schéma de réaction suivant[29] :



La réaction est réversible et uniquement une partie d'hydrogène et d'azote est convertie en ammoniac lorsque le gaz passe à travers le lit de catalyseur. Les hautes pressions et basses températures favorisent une concentration d'équilibre élevée d'ammoniac. Comme la vitesse de réaction est très améliorée par une haute température, le choix de température doit être basé sur un compromis entre la conversion d'équilibre théorique et l'approche à l'équilibre. Dans le convertisseur, 25-30 % d'azote et d'hydrogène sont convertis en ammoniac. Le reste non converti est recyclé au convertisseur après la séparation du produit d'ammoniac liquide[30].

La boucle de synthèse de l'ammoniac a été conçue pour une pression maximale de 215 kg/cm². La pression de service normale sera de 190 kg/cm² à l'entrée vers le convertisseur d'ammoniac, en fonction de la charge et de l'activité du catalyseur. A une charge réduite, la pression de la boucle diminuera[31].

Les températures de service normales seront dans une fourchette de 368-505°C pour le premier lit, de 422-473°C pour le deuxième lit, et de 415-453°C pour le troisième lit dans le convertisseur[31].

Après que le gaz de synthèse est passé à travers le convertisseur, le gaz effluent doit être refroidi jusqu'à une température à laquelle la plupart de l'ammoniac condense[8].

Une quantité considérable de la chaleur émise par la réaction est utilisée pour produire la vapeur à haute pression dans la chaudière de chaleur perdue de gaz de synthèse et pour préchauffer l'eau d'alimentation de chaudière à haute pression[9].

Le gaz de synthèse purifié contient une faible quantité d'impuretés, principalement les matières inertes, l'Ar et le C. Une purge continue à partir de la boucle de synthèse est nécessaire pour contrôler l'accumulation des matières inertes.

La disposition de la boucle de synthèse est illustrée à la fig.3.6.

Le gaz de synthèse d'appoint est introduit dans la boucle entre le 1^{er} chiller d'ammoniac et le 2^{ème} chiller d'ammoniac.

Comme illustré, le gaz. Effluent de convertisseur est refroidi par étapes, en premier lieu dans la chaudière de chaleur perdue de gaz de synthèse de 452°C à 340°C. Ensuite, le gaz est refroidi à environ 258°C dans le préchauffeur d'eau d'alimentation de chaudière de gaz de synthèse et dans l'échangeur de chaleur chaud, où le gaz de synthèse effluent se refroidit à 57°C en préchauffant le gaz d'alimentation de convertisseur. Le gaz de synthèse est ensuite refroidi à 34°C dans le refroidisseur d'eau et encore à 21°C dans l'échangeur froid, qui est utilisé pour préchauffer le gaz d'alimentation de convertisseur[8].

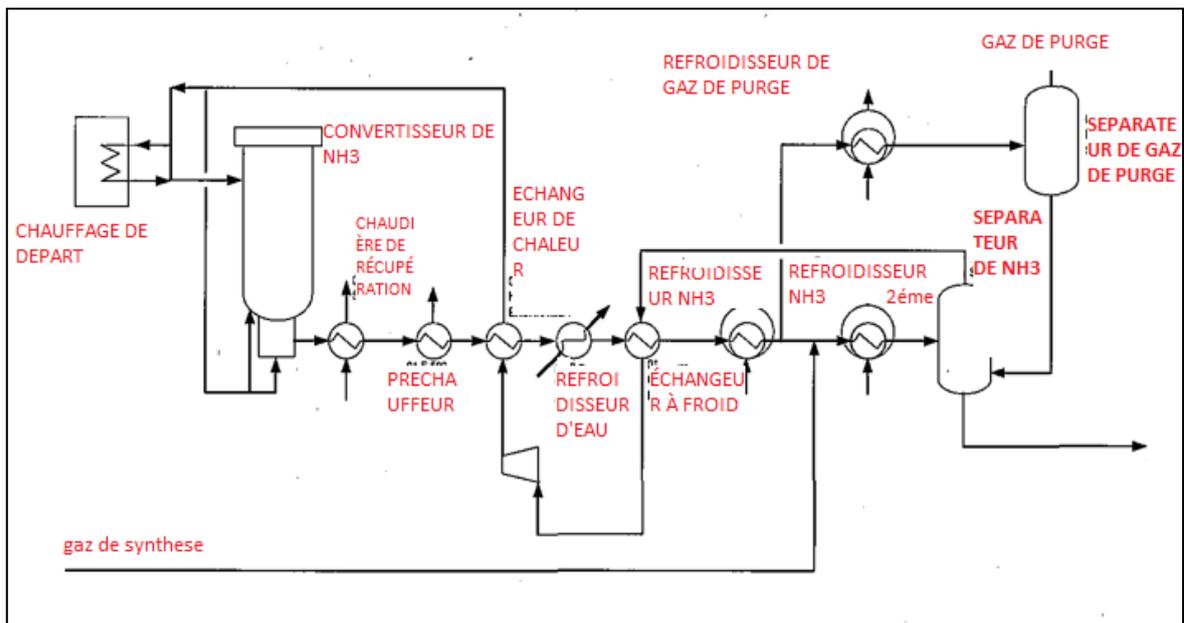


Fig.3.6 - Boucle de synthèse de l'ammoniac

Le refroidissement final du gaz de synthèse jusqu'à 0°C se déroule dans la 1er et 2ème chillers d'ammoniac. L'ammoniac condensé est séparé du gaz de synthèse de circulation dans le séparateur d'ammoniac. A partir du séparateur, le gaz est recirculé au convertisseur d'ammoniac à travers les échangeurs de chaleur froid et chaud et au convertisseur de synthèse par le circulateur, qui constitue une partie intégrée, du compresseur de gaz de synthèse.

3.4.7.2 Gaz inertes /Purge de gaz

Le gaz d'appoint contient de faibles quantités d'argon et de méthane. Ces gaz sont inertes au sens où ils passent à travers le convertisseur de synthèse sans subir aucun changement chimique. Les matières inertes s'accumuleront dans la boucle de synthèse, et une concentration élevée de gaz inertes est établie dans le gaz de synthèse de circulation. Le niveau de matières inertes augmentera jusqu'à ce que l'ajout des gaz inertes avec le gaz d'appoint soit identique à la quantité des matières inertes extraites de la boucle.

Certaines des matières inertes se dissolvent dans le produit liquide qui est séparé du gaz de synthèse dans le séparateur d'ammoniac. La quantité du gaz inerte partant de la boucle de cette manière est proportionnelle à la pression partielle des matières inertes. Normalement, cette quantité représente uniquement une faible partie des matières inertes partant de la boucle. La partie majeure sera extraite avec le gaz de purge[8].

3.4.7.3 Convertisseur d'ammoniac

Le convertisseur de synthèse de l'ammoniac, est un convertisseur "Séries 300 Topsoe Radial Flow Converter". Il consiste en une virole sous pression et un panier. Le panier est

composé de trois lits de catalyseur et de deux échangeurs de chaleur inter lits placés au centre du premier lit et du deuxième lit de catalyseur respectivement, voir la fig.3.7.

La partie principale du gaz de synthèse est introduite dans le convertisseur à travers l'entrée au fond du convertisseur et passe vers le haut à travers la couronne extérieure entre le panier et la virole sous pression, en maintenant ce dernier refroidi. Il passe ensuite vers la plaque tubulaire de fond du premier échangeur de chaleur inter lits à travers les tuyaux de transfert dans l'échangeur de chaleur et passe dans les tubes vers le haut et ainsi en refroidissant le gaz de sortie provenant du premier lit à la température d'entrée vers le deuxième lit[8].

L'autre partie du gaz de synthèse est introduite à travers l'entrée centrale de fond et s'écoule vers le haut à travers le tuyau de transfert allant à la plaque tubulaire de fond du deuxième échangeur de chaleur inter lits. Il passe dans les tubes vers le haut en refroidissant ainsi le gaz de sortie provenant du deuxième lit à la température d'entrée du troisième lit[31].

La partie restante du gaz, le gaz de by-pass froid, est introduite à la tête du convertisseur. A la partie supérieure du tuyau de convertisseur il se mélange avec le gaz partant du côté tube des deux échangeurs de chaleur inter lits. La quantité du gaz de by-pass froid contrôle la température d'entrée vers le premier lit[31].

Après le mélange, le gaz s'écoule à travers l'espace au-dessous du couvercle de panier vers la couronne des panneaux autour du premier lit de catalyseur. A partir des panneaux, il passe dans le premier lit de catalyseur vers l'intérieur et ensuite s'écoule aux couronnes entre le premier lit de catalyseur et le premier échangeur de chaleur inter lits. Même la distribution de gaz dans le lit de catalyseur est assurée au moyen d'une perforation appropriée dans les panneaux. L'effluent provenant du premier lit de catalyseur passe sur le côté calandre du premier échangeur de chaleur inter lits pour se refroidir jusqu'à la température d'entrée adéquate vers le deuxième lit de catalyseur par l'échange de chaleur avec le gaz introduit à travers le côté tube du premier échangeur de chaleur inter lits comme décrit ci-dessus[8].

A partir du côté calandre du premier échangeur de chaleur inter lits, le gaz est transféré au deuxième lit de catalyseur à travers les panneaux autour du lit. L'effluent provenant du deuxième lit de catalyseur passe sur le côté calandre du deuxième échangeur de chaleur inter lits pour se refroidir jusqu'à la température d'entrée adéquate vers le troisième lit de catalyseur par l'échange de chaleur avec le gaz introduit vers le côté tube du deuxième échangeur de chaleur inter lits à travers rentrée de fond comme décrit ci-dessus.

Le deuxième et le troisième lit de catalyseur sont circuits par le gaz vers l'intérieur, la distribution du gaz est assurée au moyen d'une perforation appropriée au niveau des parois du lit[8].

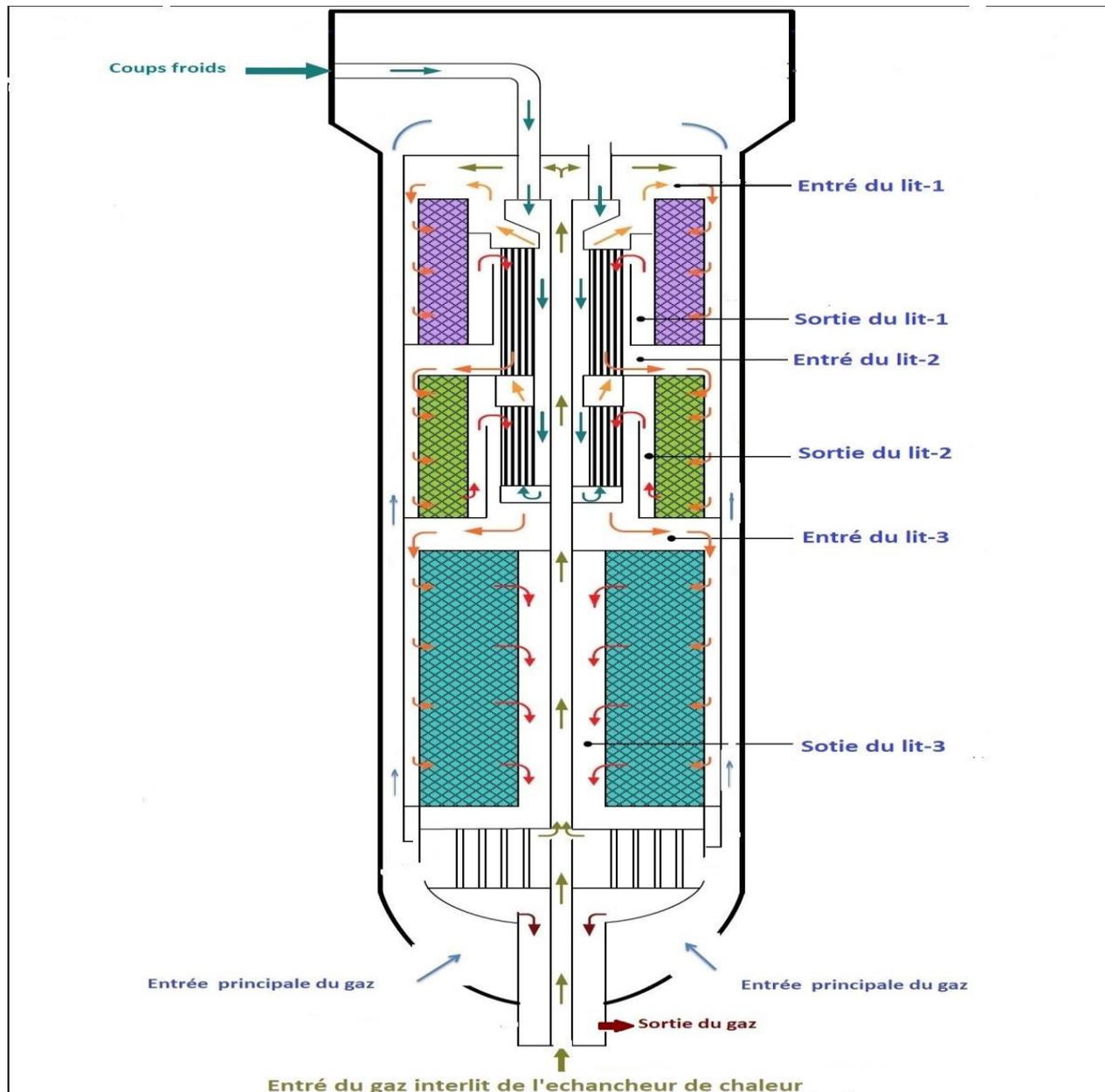


Fig.3.7 - Convertisseur de synthèse de l'ammoniac S-300

3.4.8 Stockage de l'ammoniac

Usine AOA contient, deux réservoirs de stockage d'ammoniac symétriques illustré dans la Fig3.8., ils ont été conçus pour recevoir l'ammoniac excédentaire de l'unité d'ammoniac avec température égale $-0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ et pression égale 0.05 bars .et un réservoir peut recevoir un taux maximal de 2271 tonnes par jour. En cours de fonctionnement, l'unité d'ammoniac du produit est directement envoyée à l'unité de l'urée [10].

Le réservoir est une construction à double paroi et suspendue et l'isolation est placée à l'extérieur de la paroi extérieure. Le réservoir est empilé. L'espace aérien entre le sol et la base de capuchon permet une protection contre le gel des sols.



Fig.3.8 - Bac de stockage de l'ammoniac

3.4.9 Transport

L'ammoniac est principalement transformé sur place, à 88 %, sinon il est transporté liquide à -33°C en camions citernes, navires de 35 000 t de capacité ou pipeline[14].

3.5 Conclusion

L'unité de production d'ammoniac est conçue pour produire jusqu'à 4000 T/j d'ammoniac anhydre par un procédé de reforming catalytique de gaz naturel avec vapeur, procédé HALDOR TOPSOE.

Cette énorme production indique son importance dans la vie humaine en tant que matière première dans l'industrie des engrais.

CHAPITRE 4 : Généralités

sur la simulation

4.1 Introduction

Les ingénieurs de procédés chimiques s'occupent de deux types de tâches : conception d'un nouveau procédé et simulation d'un processus existant. Ces tâches peuvent être simples ou très complexe. Pour résoudre quelques problèmes simples, calculer à la main peut être utilisé. L'avantage du calcul manuel est une connaissance plus approfondie du problème [33]. Cependant, dans un problème, la solution de plusieurs milliers d'équations est souvent nécessaire. Par conséquent, le calcul manuel de ces problèmes en temps réel est pratiquement impossible et les simulateurs sont un outil irremplaçable. À la fois la conception et les tâches de simulation nécessitent des approches spécifiques. Un produit chimique la conception de processus commence par une exigence pour un produit et passe par différentes étapes de conception. Une simulation la tâche commence par une exigence de modification de processus ou l'optimisation et se poursuit par une analyse de l'existant état de l'art [34].

4.2 Définition de la simulation

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement [35].

Autrement dit, la simulation permet de représenter par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires. Elle est un outil utilisé dans les différents domaines de l'ingénierie et de la recherche. Elle permet d'analyser le comportement d'un système avant de l'implanter et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et conditions opératoires [36].

4.3 Objectif de simulation

L'objectif de simulation est :

- Calculer les caractéristiques physiques et chimiques comme la température et la pression.
- Présenter les éléments nécessaires pour dimensionnement.
- Déterminer le prix après les démarches aux projets (tel que : colonne distillation).
- Améliorer les conditions (le point optimal du fonctionnement).
- La motivation de la simulation de procédé et l'utilisation de simulateur.
- Acquérir à se servir d'un logiciel de simulateur d'un procédé professionnel [37].

4.4 Modélisation mathématiques

Le modèle mathématique est composé d'une série d'équations développées dans l'objectif de décrire le comportement d'un système donné (opération unitaire : séparation de phases, fractionnement de composants, compression, détente, échange de chaleur).

Ce sont des équations de conservation de masse, d'énergie et de quantité de mouvement, Ces équations peuvent être algébriques ou différentielles, Voir Fig. 4. 1. [38] .

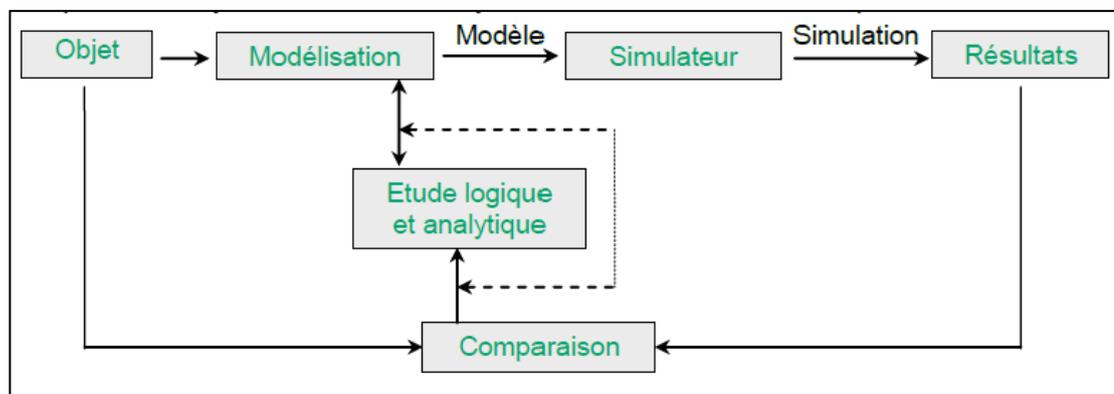


Fig.4.1 - Schéma de la modélisation et la simulation

4.5 Principe de fonctionnement de simulateur

Les simulateurs de procédés utilisés classiquement dans l'industrie. Ils sont principalement utilisés pour la conception de nouveaux procédés (dimensionnement d'appareil, analyse de fonctionnement pour différentes conditions opératoires, optimisation), pour l'optimisation de procédé existant et l'évaluation de changements effectués sur les conditions opératoires. Avant même de parler de modèles d'opération de transformation de la matière, il faut des modèles pour prédire les propriétés physiques de la matière. C'est pour quoi ces simulateurs disposent tous d'une base de données thermodynamique contenant des propriétés des corps purs (masse molaire, température d'ébullition sous condition normal, paramètre des lois de tension de vapeur, ...). Cette base de données est enrichie d'un ensemble de modèles thermodynamiques permettant d'estimer les propriétés des mélanges.

Tous simulateurs industriels de procédés chimiques sont organisés au tour de modules suivants :

- Une base de données de corps pur est un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés de mélanges appelé aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de d'écrire les liaisons entre les différentes opérations unitaires constituant l'unité (PFD pour Process Flow Diagram).
- Les modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation, échangeurs de chaleur, pertes de charges, etc.

- Un ensemble de méthode numérique de résolution des équations des modèles.
- Avec ce type de logiciel, les ingénieurs peuvent à partir de la donnée des corps purs présents dans le procédé et du schéma de procédé, développer un modèle du processus reposant sur la mise en commun des équations décrivant les différentes opérations unitaires.
- les réactions chimiques, les propriétés des substances et du mélanges, qui puisse aussi communiquer avec d'autres applications comme Excel, Visual Basic et Matlab, etc. [39].

4.6 Diagramme de flux de processus (Process flow diagram (PFD))

Un diagramme de flux (débit) de processus (PFD) est une représentation graphique (Fig.4.2) d'un processus de génie chimique qui montre le chemin principal du flux de processus. Il ne montre pas les détails mineurs du processus, mais se concentre plutôt sur l'équipement utilisé, les vannes de régulation et les autres instruments présents. Il permet d'illustrer comment les principaux composants d'une usine de traitement interagissent les uns avec les autres pour produire l'effet souhaité. Il est également utilisé efficacement dans d'autres secteurs tels que l'administration des affaires pour comprendre comment différentes sections d'une entreprise peuvent travailler efficacement afin d'atteindre leurs objectifs spécifiques. Frank Gilbreth Sr. a été la première personne à développer un organigramme en 1921, lorsqu'il l'a présenté à l'American Society of Mechanical Engineers (ASME) [40].

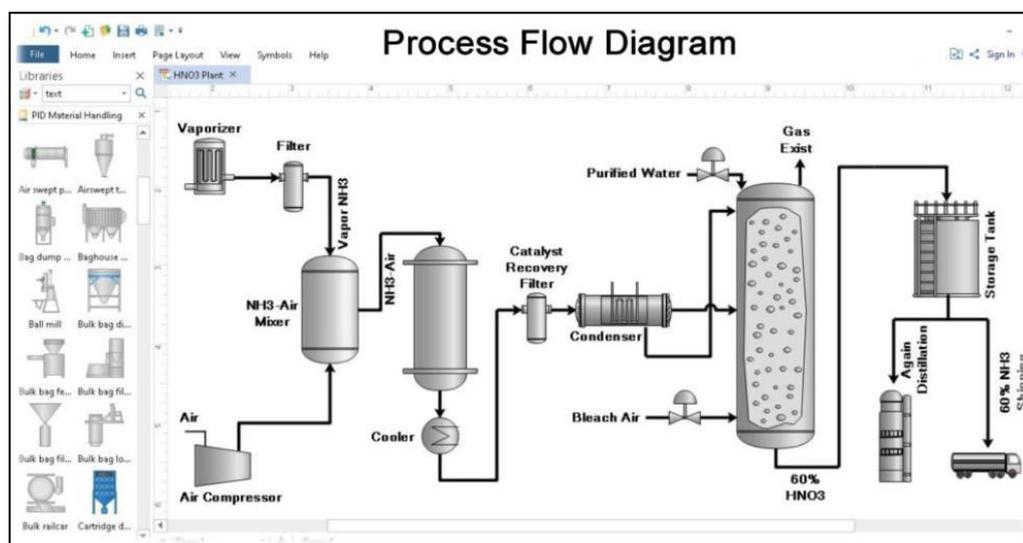


Fig.4.2 -Process flow diagrams (PFD)

4.7 Modes de fonctionnement des simulateurs

Il y a deux modes de fonctionnement dans un simulateur :

4.7.1 Statiques (ou stationnaire)

Les simulateurs statiques résolvent des équations statiques qui traduisent le fonctionnement en régime permanent (à l'équilibre).

4.7.2 Dynamiques

Permettent d'évaluer l'évolution des variables dans le temps à partir de la résolution de systèmes d'équations différentielles.

Les simulateurs industriels sur la thermodynamique les plus connus mondialement sont :

- **Statiques** : ASPEN PLUS (Aspen Technologies), Design II de (WinSim), Aspen HYSYS, PRO/II (Simulation Sciences), PROSIM
- **Dynamiques** : Aspen HYSYS, ASPEN DYNAMICS (Aspen Technologies), Design II de (WinSim), DYMSYM (Simulation Sciences Inc.)

4.8 Le logiciel Aspen HYSYS

4.8.1 Présentation du logiciel Aspen HYSYS

Aspen HYSYS est un logiciel de simulation et de conception d'usines de traitement. Il est conçu par la société canadienne Hyprotech, fondée par des chercheurs de l'Université de Calgary, HYSYS V1.1 publié en 1996. En mai 2002, AspenTech a acquis et modifié Hyprotech, dont HYSYS.

Le logiciel Aspen HYSYS est un outil de dimensionnement utilisé par l'industrie du pétrole et du gaz pour maximiser la rentabilité des nouveaux procédés et améliorer les opérations des procédés existants.

4.9 Avantages de l'utilisation de l'Aspen HYSYS

Le logiciel Aspen HYSYS est utilisé pour s'assurer que les conceptions optimales sont identifiées. Les ingénieurs engagés dans l'engineering de design utilisent le logiciel

Aspen HYSYS pour faire des calculs rapides de différents designs en utilisant des modèles efficaces et des techniques optimales.

La simulation par logiciel Aspen HYSYS réduit les coûts de l'engineering par :

- Des calculs rapides de différents designs en utilisant des modèles efficaces et des techniques optimales pour s'assurer que des équipements des procédés sont correctement spécifiés afin de déterminer les spécifications des produits voulus aux rendements de la production désirée [41],
- Création de modèles qui peuvent être appliqués tout le temps durant la durée de fonctionnement de l'unité à partir du design de conception jusqu'aux détails : Estimation, formation et optimisation [42].

Le logiciel HYSYS améliore la rentabilité de l'unité parce que :

- Les changements du design sont évalués rapidement, rendus effectifs d'une manière optimale [43].

4.10 Les modèles thermodynamiques

Les modèles thermodynamiques sont souvent utilisés pour la détermination des propriétés thermodynamiques et volumétriques des composés et des mélanges.

Dans ce qui suit, les trois classes des modèles thermodynamiques et leurs applications vont être présentés [44].

4.10.1 Modèles d'activité

Ces modèles sont surtout utilisés pour les systèmes qui présentent une forte polarité. Parmi ces modèles : le modèle de MERGULES et le modèle UNIQUAC [43].

4.10.2 Modèles hétérogènes

Ces modèles sont recommandés pour les systèmes de constituants présentant une forte polarité (forte déviation à l'idéalité, azéotropes...). Dans ces modèles, les phases vapeurs sont représentées par les équations d'état tandis que les phases liquides sont représentées par des corrélations pour le calcul des coefficients de fugacité.

Leurs utilisations restent limitées à cause de la nature empirique des corrélations proposées et qui nécessitent des extrapolations en dehors des conditions expérimentales [42].

4.10.3 Modèles basés sur les équations d'état

Les modèles thermodynamiques basés sur les équations d'état sont utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbures. Ils peuvent être utilisés pour calculer des propriétés thermodynamiques telles que la constante d'équilibre K , l'entropie, l'enthalpie et la densité, voir Fig.4.3.

Leur supériorité par rapport aux autres modèles réside dans le fait de l'utilisation de coefficients d'interactions binaires [42].

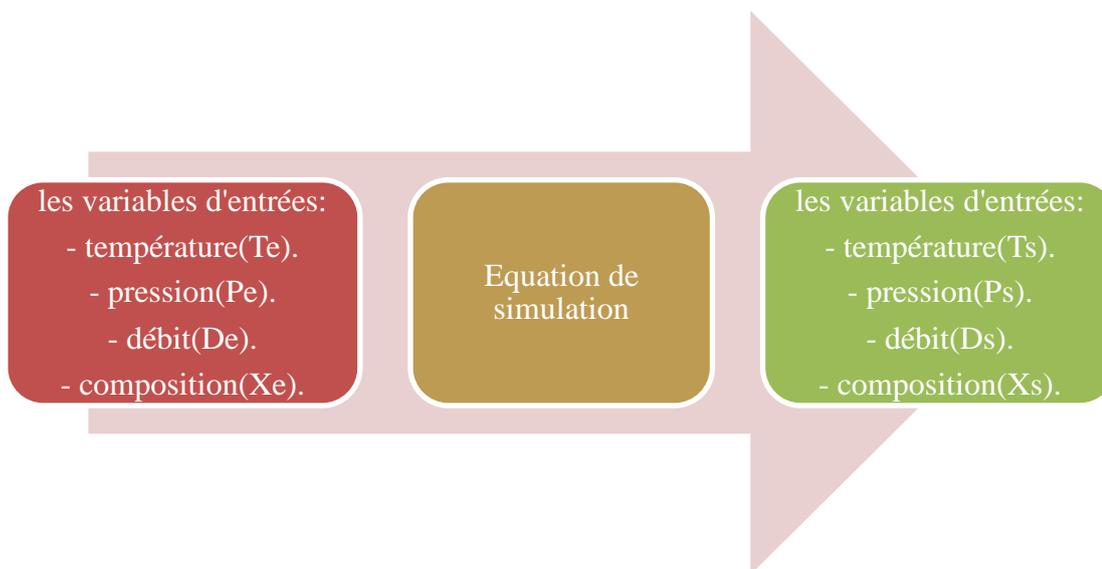


Fig.4. 3 Les variables d'états.

Les équations d'état les plus utilisées sont :

- Soave-Redlich-Kwong (SRK),
- SRK– Kabadi –Donner (SRKKD),
- SRK- Huron Vidal (SRKH),
- SRK- Panagiotopoulos- Reid (SRKP),
- SRK- Modified Panayiotopoulos -Reid (SRKM),
- SRK- SIMSCI (SRKS),
- SRK- Hexamèr (HEXAMER),
- Peng - Robinson (PR),
- PR- Hur on -Vidal (PRH),
- PR Panagiotopoulos Reid (PRP),
- PR- Modified Panagiotopoulos – Reid (PRM).

4.11 Le choix du modèle thermodynamique

Les logiciels de simulation donnent accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transports [43].

La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions pression et de température recommandée [45].

Pour les procédés de traitement de gaz, l'équation d'état de Peng - Robinson (PR) est généralement le modèle recommandé. Elle contient les données pour modéliser le processus de l'absorption et désorption des gaz acides.

Le modèle thermodynamique choisi est "Acid Gaz-Chemical solvant package" utilisé pour les procédés d'élimination des gaz acides [43].

4.12 Utilisation du simulateur

Aspen HYSYS a été conçu afin de permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant de la séparation simple jusqu'à la distillation et la transformation chimique. Ce qui nous simplifie de plus en plus la tâche et réduit les coûts de l'engineering par :

- Etablir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- Dimensionner les équipements de ce procédé.
- Ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de compositions de l'alimentation ou des conditions de fonctionnement de certains équipements.
- Déterminer les performances des équipements.

4.13 Concepts et caractéristiques du simulateur Aspen HYSYS

4.13.1 Concepts de base du simulateur Aspen HYSYS

Aspen HYSYS est un logiciel de simulation interactif intégrant la gestion d'événements (« Event driven ») : c'est-à-dire qu'à tout moment, un accès instantané à l'information est possible, de même que toute nouvelle information est traitée sur demande et que les calculs qui en découlent s'effectuent de manière automatique. Non seulement toute nouvelle information est traitée dès son arrivée mais elle est propagée tout au long du Flowsheet.

Dans ce qui suit, on définit les principaux concepts de base et vocabulaires associés, qui sont utilisés pendant les étapes de construction d'un modèle dans le simulateur Aspen HYSYS.

- **Flowsheet** : c'est un ensemble d'objets « FlowsheetElements » (courants de matière, d'énergie, d'opérations unitaires, de variables opératoires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique « FluidPackage ».
- **Fluid Package** : il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leur affecte les propriétés chimiques et physiques contenues dans la base de données des corps purs.

Il permet aussi de définir les modèles thermodynamiques qui seront utilisés pour le calcul des propriétés des mélanges et de définir les cinétiques des réactions chimiques mises en jeu dans le procédé.

- **Process Flow Diagram** : ce diagramme permet de visualiser les courants et les opérations unitaires, représentées par des symboles dans le « Flowsheet », ainsi que la connectivité entre les courants, les opérations unitaires et les tableaux des propriétés des courants.
- **Workbook** : il permet d'avoir accès à l'information sur les courants et les opérations unitaires sous forme de tableau de données.
- **Desktop** : c'est l'espace principal de Aspen HYSYS pour visualiser les fenêtres lors de la conception.
- **Propertyview** : il contient l'information décrivant un objet (opération ou courant)
- **Simulation Case (fichier de simulation)** : c'est l'ensemble de FluidPackage, Flowsheets et Flowsheet Elements qui constituent le modèle [46].

4.14 Environnement de simulation

Il existe 3 environnements de développement pour manipuler et mettre en forme l'information dans le simulateur :

- Environnement « Basis Manager » : cet environnement permet de créer et modifier le « Fluid Package ».
- Environnement « OilCharacterization » : il est utilisé pour caractériser les fluides de type pétrolier.
- Environnement « Main Flowsheet » : il permet de définir la topologie du Flowsheet principal de la simulation. Il est utilisé pour placer et définir les différents courants, opérations unitaires et « Sub-Flowsheets » qui constituent le procédé simulé [46].

4.15 Les étapes d'utilisation de simulateur HYSYS

4.15.1 Démarrage de HYSYS

Le processus d'installation crée le raccourci suivant dans la Fig.4.3 vers Aspen HYSYS :

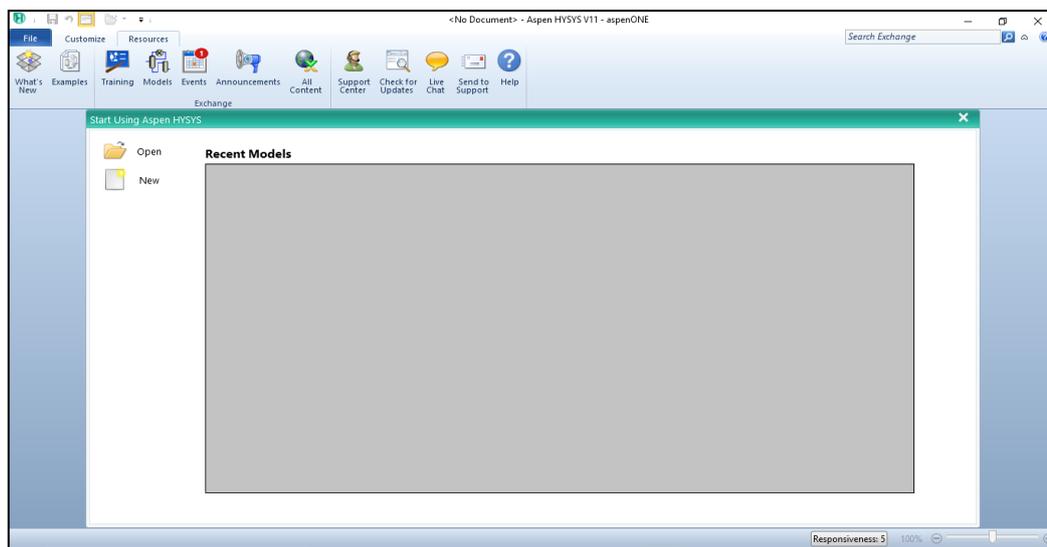


Fig.4. 4 Démarrage de Aspen HYSYS

4.15.2 Simulation Basis Manager

Aspen HYSYS a utilisé le concept du "Fluid package" pour contenir toutes les informations nécessaires pour effectuer des calculs de flash et de propriétés physiques. Cette approche vous permet de définir toutes les informations (ensemble de propriétés, composants, composants hypothétiques, paramètres d'interaction, réactions, données tabulaires, etc.) Dans une seule entité.

Cette approche présente quatre avantages essentiels :

- Toutes les informations associées sont définies en un seul endroit, ce qui permet de créer et de modifier facilement les informations.
- Les paquets de fluides peuvent être stockés en tant qu'entités complètement définies pour être utilisées dans n'importe quelle simulation.
- Les listes de composants peuvent être stockées séparément des "Fluid Packages" en tant qu'entités complètement définies pour être utilisées dans n'importe quelle simulation.
- Plusieurs "Fluid Packages" peuvent être utilisés dans la même simulation. Cependant, ils sont définis dans le "Basis Manager commun".

Le "Simulation Basis Manager" est une vue de propriété qui vous permet de créer et de manipuler plusieurs paquets de fluides ou listes de composants dans la simulation.

4.15.3 Créer une nouvelle simulation

4.15.3.1 Introduction des composés

Avant de commencer la simulation de n'importe quel procédé il est nécessaire d'introduire la liste des composés, pour cela aller dans :

Properties → Component lists → Aspen Hysys fait apparaître un tableau dans lequel apparaissent une grande variété de composés chimiques → Ecrire le nom du composé dans Search for → Une fois le composé trouvé cliquer sur Add. Ce qu'on montre dans la Fig.4. 5.

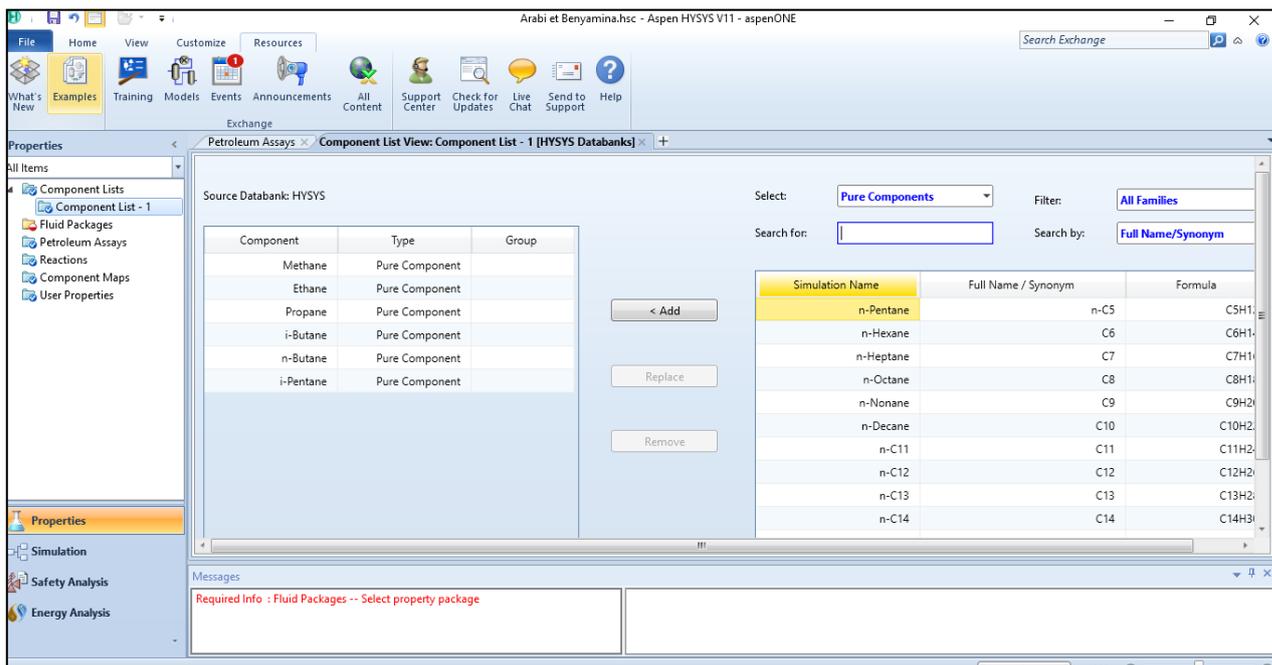


Fig.4.5 - Exemple de création de composants

4.15.3.2 Définition du modèle thermodynamique

Aller dans Properties → Fluid Package → Une liste de modèles est affichée (Property Package Selection) → Sélectionner le modèle adéquat (pour ce procédé on utilisera le modèle de Peng-Robinson), comme il est illustré dans la Fig.4.6.

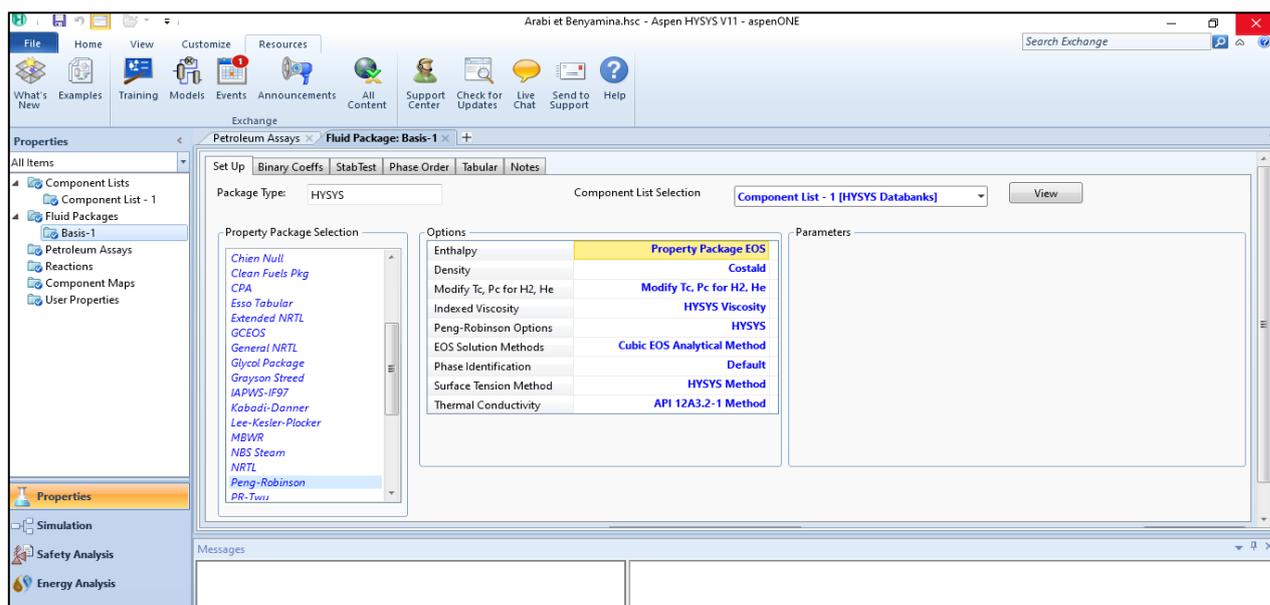


Fig.4.6 - Choix d'un modèle thermodynamique

4.15.3.3 Espace simulation

Dans l'environnement de simulation, l'endroit où on a fait la simulation (Fig.4.7).

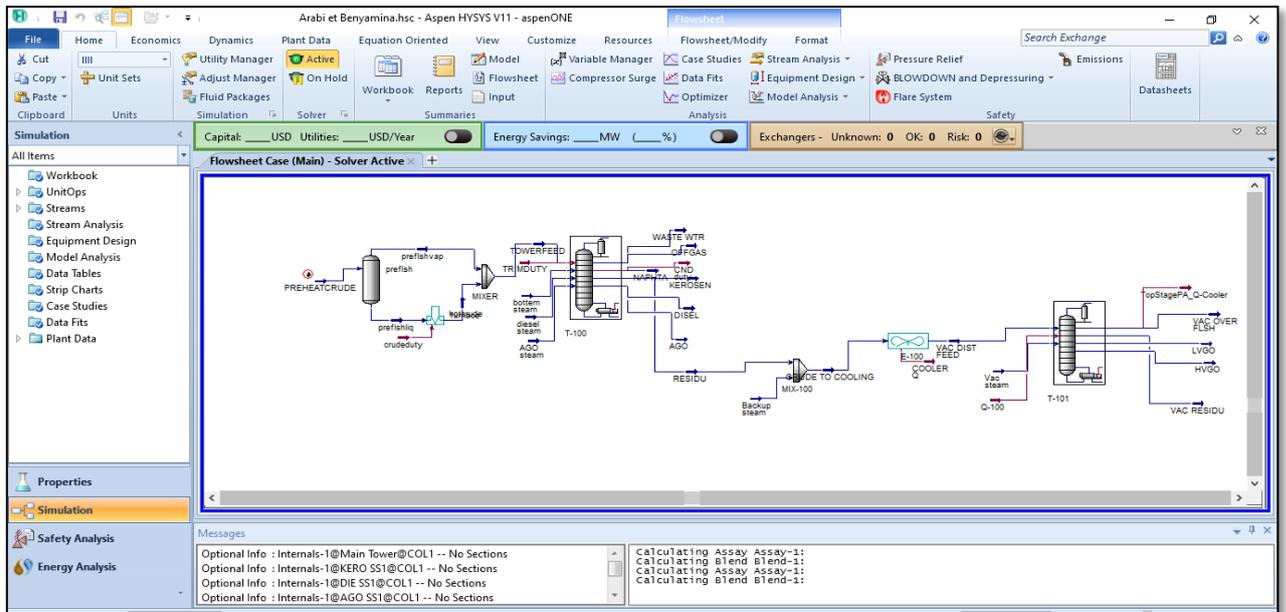


Fig.4.7 - Espace de simulation

4.16 Conclusion

La conception d'expériences par simulation avec des simulateurs de processus, par exemple Aspen HYSYS, peut être très efficace dans l'optimisation de plusieurs systèmes d'ingénierie chimique. Il est important d'améliorer nos compétences en soulignant l'intérêt d'appliquer des connaissances spécifiques au problème, des outils de simulation et des techniques statistiques solides. Un ingénieur de procédé ou un étudiant construit un PFE montrant tous les équipements réels nécessaires. Notons que le calcul de n'importe quel équipement est très facile et ne nécessite que quelques secondes.

CHAPITRE 5 : simulation et calcul

5.1 Introduction

La synthèse de l'ammoniac est un processus très important dans l'économie nationale et la synthèse en colonne avec les équipements supplémentaires coûteux ce qui justifie la nécessité de la modélisation mathématique, de la validation du modèle et du contrôle. C'est pour cela, dans ce dernier chapitre, on va tout d'abord voir l'exactitude de notre simulation, en simulant le cas design et comparant les résultats obtenus avec celles du designer afin d'étudier le cas actuel. Généralement ce travail est fait pour améliorer le rendement ainsi pour obtenir le taux de l'ammoniac de design en réalité.

5.2 Les étapes de simulation

Pour réaliser la simulation de la synthèse d'ammoniac par logiciel Aspen HYSYS, les étapes suivantes doivent être suivies

5.2.1 L'introduction de composition

On a introduit les éléments suivants : Ar, CH₄, H₂, He, N₂, NH₃. Comme on a montré dans la Fig.5.1.

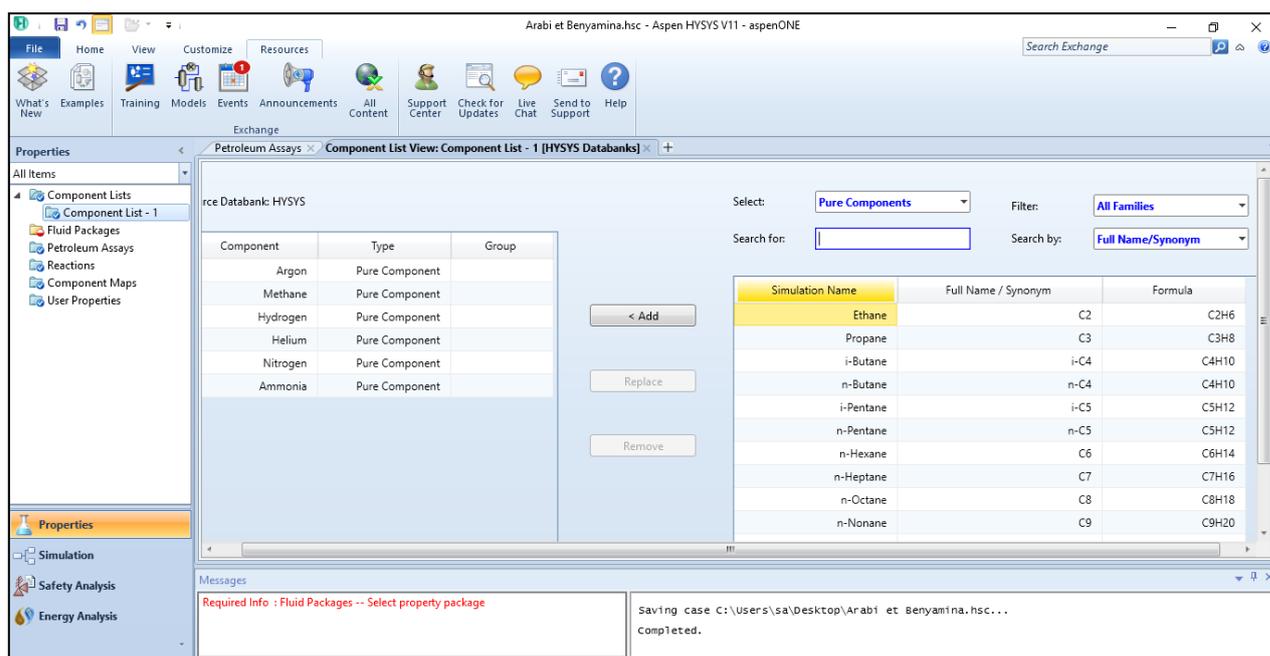


Fig.5.1 - Introduction des composants

5.2.2 Le choix de modèle thermodynamique

On a choisi le modèle thermodynamique Peng-Robinson, car ce procédé s'agit d'une application industrielle liée à la pétrochimie, il permet de résoudre avec exactitude tous les systèmes constitués d'une seule phase, les systèmes bi-phasiques ou même tri-phasiques, avec un haut degré d'efficacité et de précision. Voir la Fig.5.2.

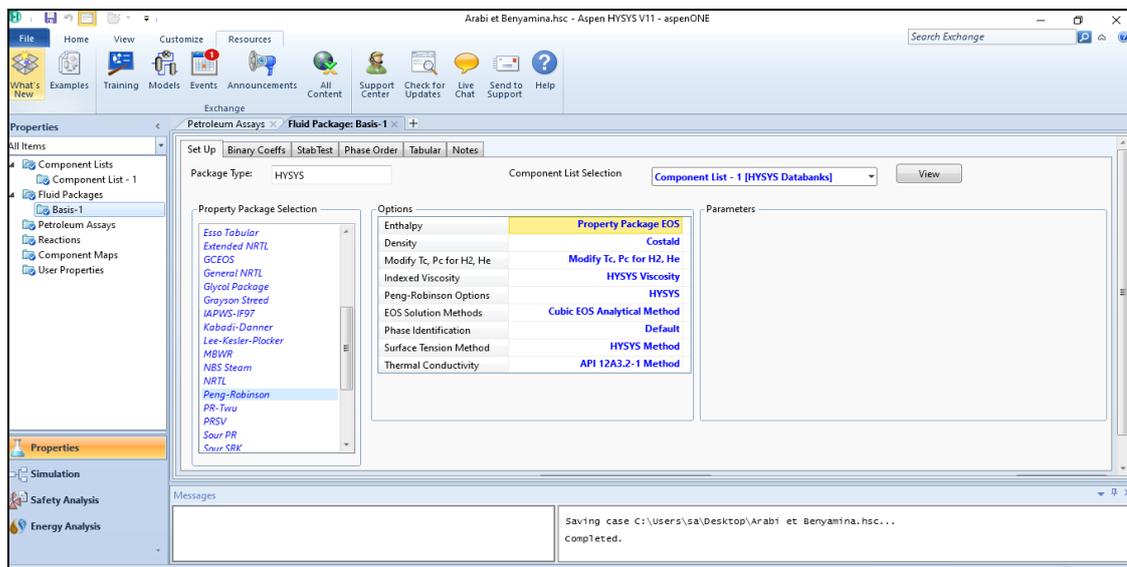


Fig.5.2 – Choix du modèle thermodynamique

5.2.3 L'introduction de la réaction

La Fig.5.3 explique comment on est entré la principale équation exothermique de la synthèse de l'ammoniac :

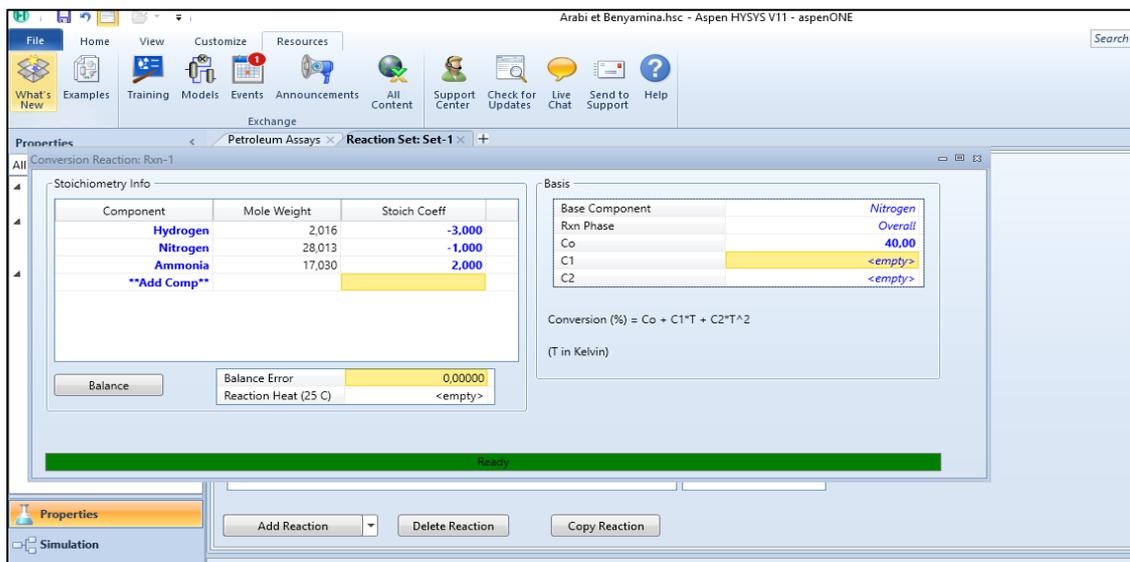
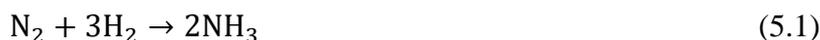


Fig.5.3 - L'introduction de la réaction

5.3 Simulation

5.3.1 Les équipements utilisés

On utilise dans cette simulation plusieurs équipements qui sont :

5.3.1.1 Le réacteur

On a utilisé un réacteur du type « Plug Flow Reactor » qui est représenté dans la Fig.5.4, il est composé d'un tube cylindrique, parfois d'un banc de tubes, et généralement utilisé pour effectuer des réactions en phase gazeuse, ou le fluide est mélangé dans le sens radial.

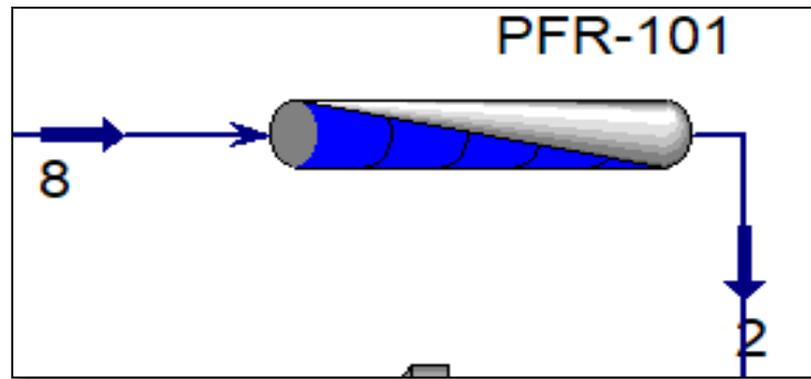


Fig.5.4 - Le réacteur PFR

5.3.1.2 L'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur exprimé dans la Fig.5.5 ci-dessous, est un instrument clé du thermicien ou de l'énergéticien, permet de transférer la chaleur d'un fluide à un autre.

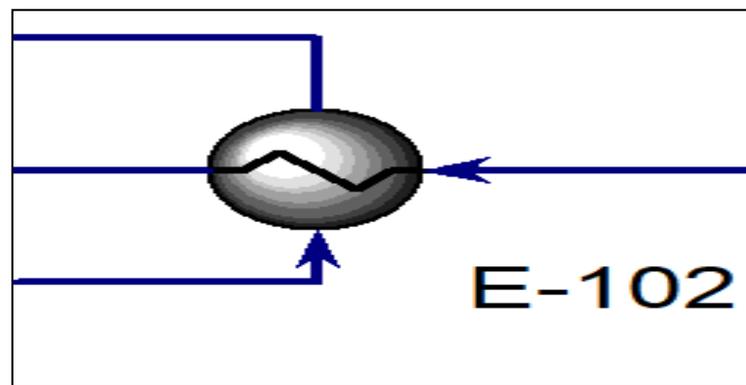


Fig.5.5 - Echangeur de chaleur

5.3.1.3 Cooler

Un équipement qui permet le refroidissement de fluide gaz ou liquide dans l'industrie. Voir la Fig.5.6.

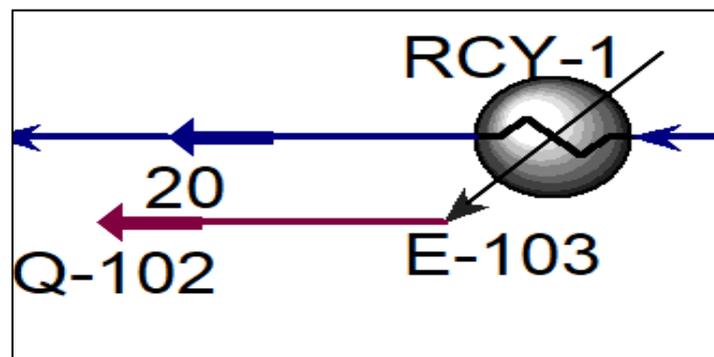


Fig.5. 6 – Cooler

5.3.1.4 Séparateur

Est un appareil de prétraitements destinés à séparer deux ou plusieurs fluides, on le décrit dans la Fig.5.7. Lorsque le modèle SEP est exécuté, tous les flux d'alimentation sont mélangés et le débit combiné, la composition et l'enthalpie molaire sont calculées. Le bloc permet l'affectation des débits ou de la fraction fractionnée des composants de chaque composant dans chacun des n-1 flux de produits, sur la base des flux combinés. La composition du nième flux est calculée par un bilan matière[47].

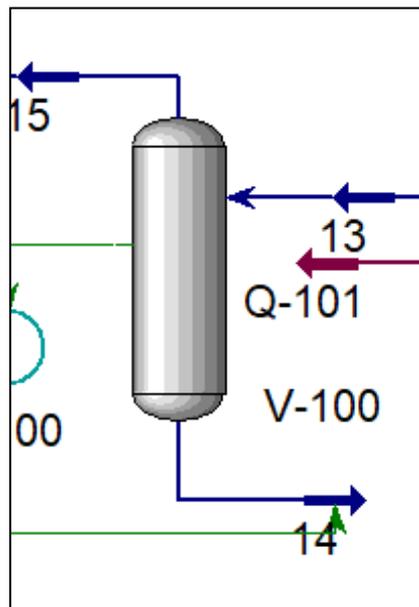


Fig.5.7 - Séparateur

5.3.1.5 Le compresseur

Le compresseur illustré dans la Fig.5.8 est un équipement nécessaire pour augmenter la pression d'un gaz ou vapeur.

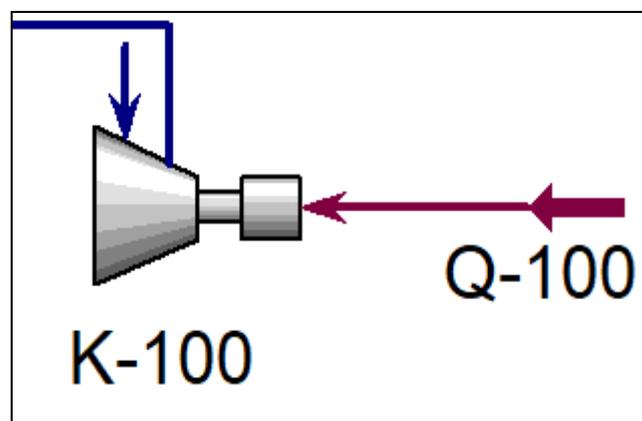


Fig.5.8 - Compresseur

5.3.1.6 Mixer

Le bloc Mixer combine un nombre arbitraire de flux d'entrée et produit un seul flux (Fig.5.9) par simple bilan matière. Si l'option sans bilan thermique est choisie, aucune autre entrée n'est requise[47].

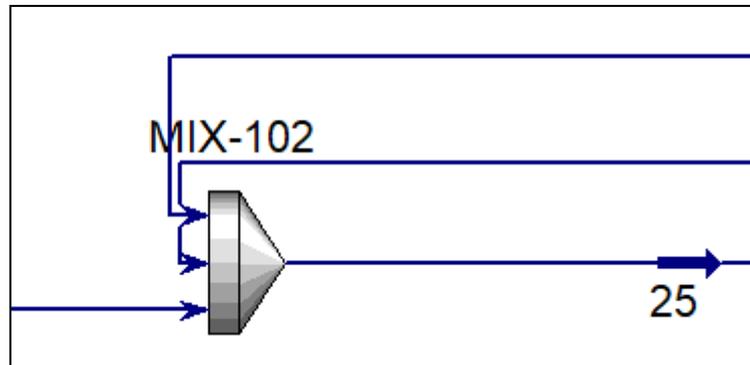


Fig.5.9 - Mixer

5.3.1.6 Tee

Le Tee exposé dans la Fig.5.10 est conçu pour diviser un flux unique, ou un mélange de flux dont l'état est connu, c'est-à-dire le débit, la température de composition et la pression. Un nombre arbitraire de flux de produits ayant des états identiques.

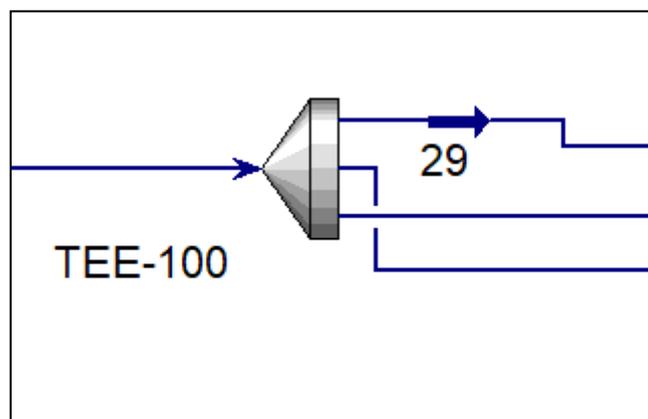


Fig.5.10 - Tee

5.3.1.7 Le convertisseur d'ammoniac 01-R-501

Le convertisseur dans la loupe de synthèse d'ammoniac consiste en une virole et un panier. Le panier est composé de trois lits de catalyseur et de deux échangeurs de chaleur inter lits placés au centre du premier lit et du deuxième lit[31].

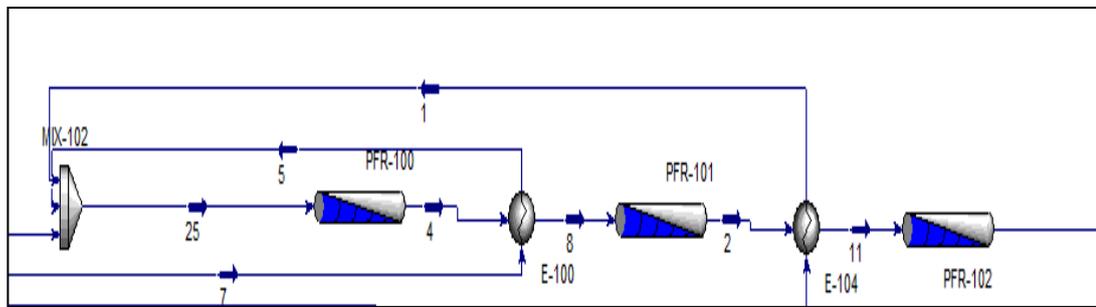


Fig.5.11 - Les trois lits catalytiques

5.3.2 Données pour la simulation

Dans le tableau 5.1 on démontre la composition du gaz d'appoint

Tableau 5.1 - La composition molaire du gaz d'appoint

| Le composant | La fraction molaire |
|-----------------|---------------------|
| CH ₄ | 0.0554 |
| H ₂ | 0.6767 |
| N ₂ | 0.2373 |
| NH ₃ | 0.0112 |
| Ar | 0.0166 |
| He | 0.0028 |

Les caractéristiques et les données d'entrée et de sortie de chaque lit sont indiquées dans le tableau 5.2 et le tableau 5.3 respectivement.

Tableau 5.2 - Caractéristique des 3 lits

| Numéro de lit | 1 | 2 | 3 |
|--|--------------------------------------|-------|-------|
| Sens de l'écoulement | Radial de l'extérieur vers le centre | | |
| Taille de grains du catalyseur (mm) | 1,5 – 3,0 | | |
| Qualité de catalyseur | Pré-réduit | Oxydé | Oxydé |
| Diamètres du lit radial (mm) | 1390 | 1390 | 790 |
| Volume de catalyseur actif par lit (m ³) | 22 | 26,1 | 42 |
| Hauteur de lit (mm) | 5300 | 6300 | 7900 |

Tableau 5.3 - données de sortie et d'entrée de chaque lit

| Composition | Entrée % mole | Sortie % mole | Lit catalytique 1 | | | |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Température (°C) | | Pression (bars) | |
| | | | Entrée | Sorti | Entrée | Sorti |
| N ₂ | 0,2373 | 0.2177 | | | | |
| H ₂ | 0,6767 | 0.6151 | 231 | 488 | 190 | 189.8 |
| NH ₃ | 0,0112 | 0.0868 | | | | |
| Ar | 0,0166 | 0.0178 | | | | |
| CH ₄ | 0,0554 | 0.5596 | | | | |
| He | 0,0028 | 0.003 | | | | |
| Lit catalytique 2 | | | | | | |
| N ₂ | 0,2177 | 0.2112 | | | | |
| H ₂ | 0,6151 | 0.5947 | 422 | 458,5 | 189.7 | 188.4 |
| NH ₃ | 0,0868 | 0.1119 | | | | |
| Ar | 0,0178 | 0.0183 | | | | |
| CH ₄ | 0,0596 | 0.0609 | | | | |
| He | 0,003 | 0.0031 | | | | |
| Lit catalytique 3 | | | | | | |
| N ₂ | 0,2112 | 0.2029 | | | | |
| H ₂ | 0,5947 | 0.5688 | 384.9 | 430 | 188.3 | 187 |
| NH ₃ | 0,1119 | 0.1436 | | | | |
| Ar | 0,0183 | 0.0188 | | | | |
| CH ₄ | 0,0609 | 0.0627 | | | | |
| He | 0,0031 | 0.0032 | | | | |

5.4 Discussion des résultats de la simulation

Le tableau 5.4 ci-dessous représente les paramètres de sortie calculés par le constructeur et ceux obtenus par HYSYS dans le dernier lit catalytique suivant le modèle thermodynamique, et le tableau 5.5 compare entre les données du cas actuel et ceux obtenus par HYSYS qui correspond à 05/06/2022 au niveau du complexe AOA.

Tableau 5.4 - Paramètres de sortie du réacteur 01-R-501 (modèle Peng Robinson)

| Paramètres | Design | Simulation par PR | Erreur % |
|--------------------|--------|-------------------|----------|
| Y_{NH_3} | 19.60 | 14.43 | 0.35 |
| Y_{H_2} | 53.40 | 56.83 | 0.06 |
| Y_{N_2} | 17.80 | 20.27 | 0.12 |
| Y_{Ar} | 2.06 | 1.88 | 0.095 |
| Y_{CH_4} | 6.78 | 6.27 | 0.081 |
| Y_{He} | 0.36 | 0.32 | 0.12 |
| Température (°C) | 452 | 430 | 0.05 |
| Pression (bars) | 187 | 187 | 0 |
| Flux gazeux (kg/h) | 352136 | 352136 | 0 |

Tableau 5.5 - Paramètres de fonctionnement de sortie du réacteur 01-R-501 (cas actuel)

| Paramètres | Actuel | Simulation actuel par PR | Erreur |
|--------------------|--------|--------------------------|--------|
| Y_{NH_3} | 19.5 | 13.55 | 0.30 |
| Y_{H_2} | 52.1 | 57.54 | 0.09 |
| Y_{N_2} | 18.41 | 20.50 | 0.08 |
| Y_{Ar} | 2.52 | 1.68 | 0.05 |
| Y_{CH_4} | 7.24 | 6.22 | 0.16 |
| Y_{He} | 0.23 | 0.31 | 0.25 |
| Température (°C) | 443.1 | 436.8 | 0.01 |
| Pression (bars) | 188 | 188 | 0 |
| Flux gazeux (kg/h) | 352136 | 352136 | 0 |

5.4.1 La remarque

Le calcul de l'erreur est fait suivant la relation suivant :
$$\partial = \frac{X_i - X_j}{X_j}$$

Sachant que :

X_i : la composition de chaque composée dans le design/actuel.

X_j : la composition de chaque composée dans le simulateur.

On a constaté une petite différence du taux de la conversion d'ammoniac entre la simulation du cas design et la simulation du cas actuel (erreur < 0.35).

Nous remarquons aussi que la température varie d'une façon décroissante et la pression ne varie pas elle reste la même que la pression du design/actuel.

5.4.2 Interprétation

Donc pour mieux comprendre la raison derrière cette petite différence dans le taux de conversion d'ammoniac entre les résultats de simulation et les données du design/actuel, nous avons observé l'évolution de la température et de la composition d'ammoniac et nitrogène et l'hydrogène dans les trois lits, les résultats sont illustrés dans les figures suivantes : (Fig.5.12, Fig.5.13, Fig.5.14, Fig.5.15).

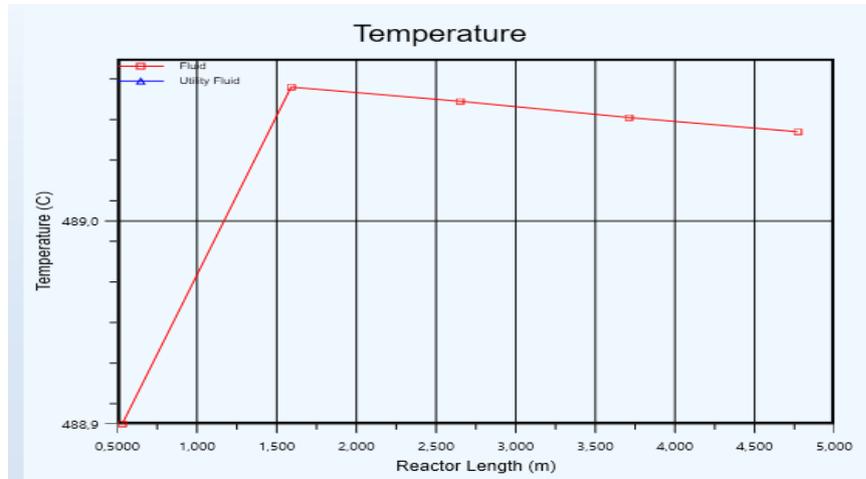


Fig.5. 12 - Evolution de la température tout au long le 1er lit

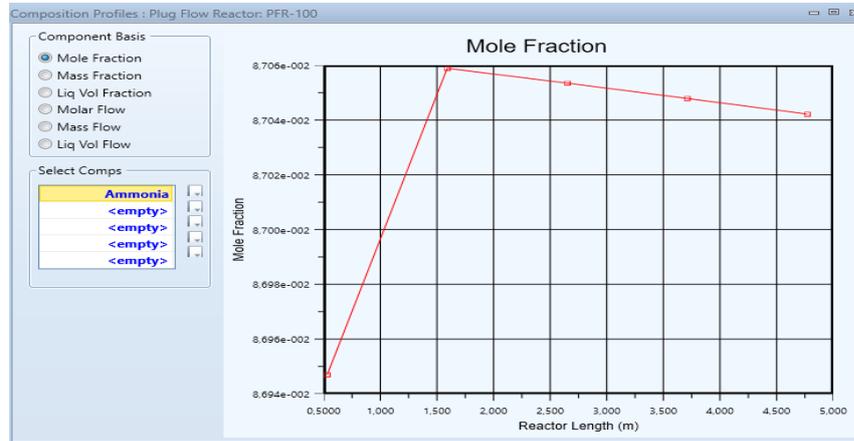


Fig.5.13 - Composition d'ammoniac par rapport à la longueur du lit

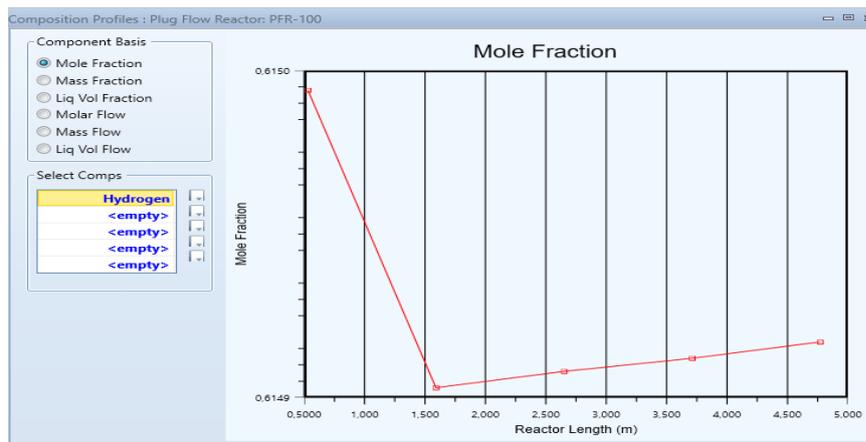


Fig.5. 14 - Composition de l'hydrogène par rapport à la longueur du lit

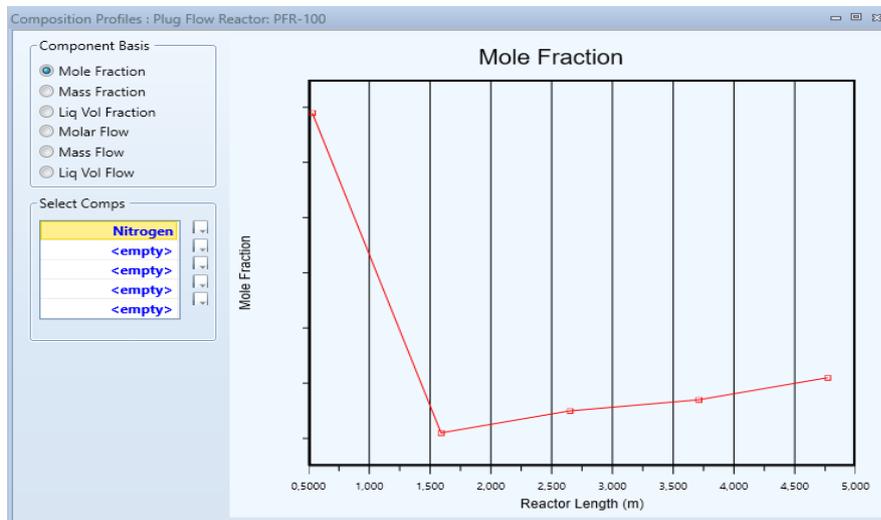


Fig.5. 15 - Composition du nitrogène par rapport à la longueur du lit

Par l'observation des courbes précédentes, nous sommes arrivés au suivant :

L'ammoniac se forme simultanément avec l'augmentation de la température jusqu'à 489,7°C pour revenir et diminuer, entraînant une diminution d'ammoniac et une augmentation d'azote et d'hydrogène, ce qui signifie que la réaction se déroule dans le sens inverse.

Après avoir vérifié la conformité de notre simulation, on a remarqué que la température est instable dans notre réacteur due à la longueur du lit catalytique.

Le tableau 5.6 suivant donne la longueur des trois lits avant et après la correction

Tableau 5.6 - longueur du trois lits avant et après

| | 1 ^{er} lit | 2 ^{ème} lit | 3 ^{ème} lit |
|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Langueur avant (m) | 5.3 | 6.3 | 7.9 |
| Langueur après (m) | 10 | 14 | 18 |

Les résultats obtenues après sont illustrés dans les figures suivants (Fig.5.16, Fig.5.17, Fig.5.18, Fig.5.19, Fig.5.20)

| | Mole Fractions |
|----------|----------------|
| Methane | 0.0591 |
| Hydrogen | 0.5353 |
| Nitrogen | 0.1765 |
| Ammonia | 0.1883 |
| Argon | 0.0267 |
| Helium | 0.0142 |

Fig.5.16 - Taux de conversion d'ammoniac à la sortie du réacteur

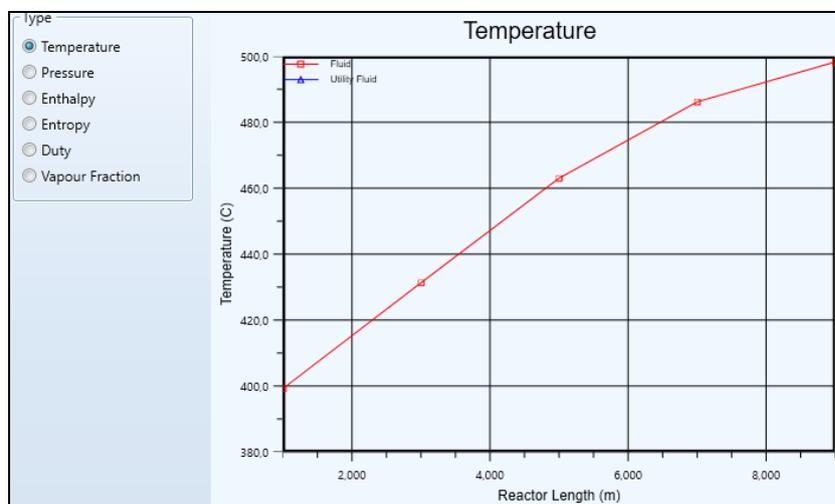


Fig.5.17 - Evolution de température en fonction du longueur du lit

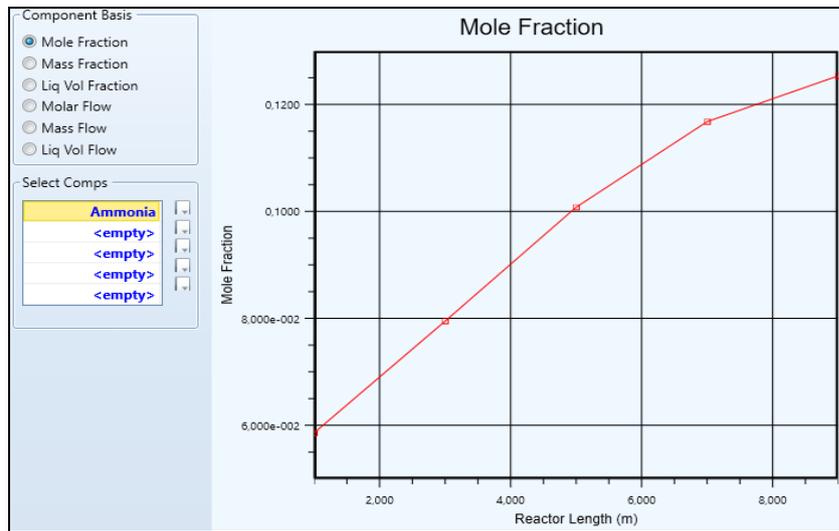


Fig.5.18 - Composition d'ammoniac en fonction de la longueur du lit

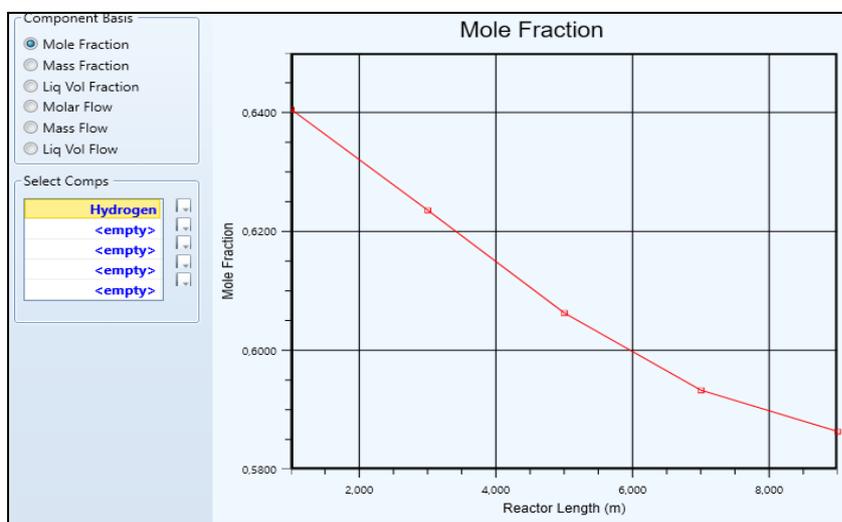


Fig.5.19 - Composition d'hydrogène en fonction de la longueur du lit

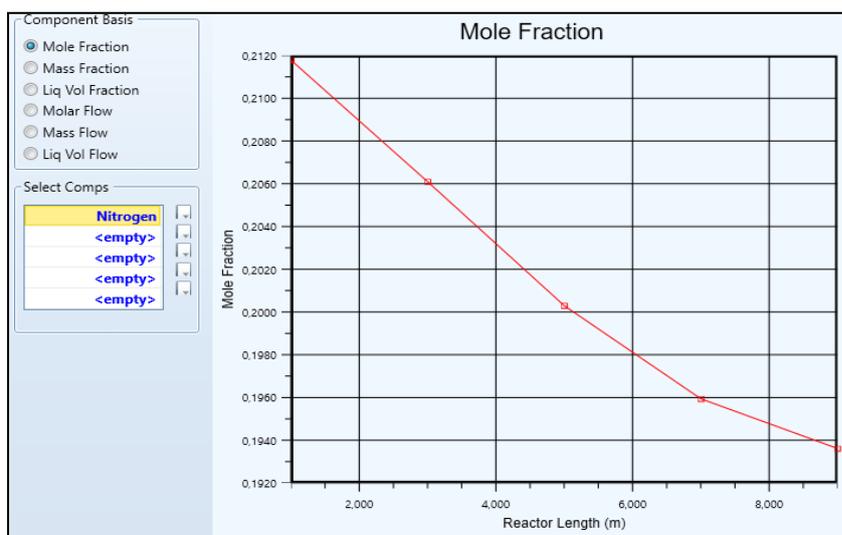


Fig.5.20 - Composition de nitrogène en fonction de la longueur du lit

Après la modification des longueurs des trois lits catalytiques, la conversion de l'ammoniac en sortie de réacteur augmente significativement de 14,43 à 18,83, ce qui est très proche de la situation de conception. Le graphique montre également la formation d'ammoniac à mesure que la température augmente, car la réaction est exothermique, ainsi que la dégradation des niveaux d'hydrogène et d'azote, ce qui signifie que la réaction se déroule dans le sens direct.

5.5 Les étapes de refroidissement

L'effluent gazeux du convertisseur est refroidi comme suit :

1. Dans la chaudière à chaleur rejetée par les GS (01-E-501) de 452 à 340°C.
2. Dans le GS BFW préchauffé (01-E-502) de 340 à 259°C.
3. Dans l'échangeur de chaleur chaud (01-E-503), ou le GS refroidi à 57°C en préchauffant le gaz alimentant le convertisseur.
4. Le GS est refroidi à 34°C dans le refroidisseur à eau (01-E-504).
5. Et ensuite dans le l'échangeur froid (01-E-505) à 21°C qui servira à préchauffer le gaz d'alimentation du convertisseur.
6. Le refroidissement final à 0°C du GS aura lieu dans le 1^{er} et 2^{ème} (01-E-506/7) refroidisseur[31].

L' NH_3 condensé est séparé dans le séparateur (01-V-101). A partir du séparateur, le gaz est recerclé au convertisseur à travers les échangeurs froids et chauds vers le (01-R-501) par le circulateur, qui est une partie intégrante du (01-K-100). Le gaz de synthèse d'appoint entrant la boucle d' NH_3 est saturé avec de la vapeur d'eau, Il contient aussi des traces de CO et CO_2 . La concentration de la vapeur d'eau dans le gaz d'appoint est environ 200 à 300 ppm, elle sera éliminée par absorption dans l' NH_3 condensé. Le CO_2 dans le gaz d'appoint réagira avec le NH_3 gazeux et liquide formant ainsi le carbamate d'ammonium $\text{NH}_4 - \text{CO}_2 - \text{NH}_2$:



Le carbamate formé se dissous dans le NH_3 condensé. Le CO_2 est légèrement soluble dans le NH_3 , il passe dans le convertisseur par recirculation ou il sera hydrogéné en eau et CH_4 par méthanisation. Puisque les composés oxygénés désactivent le catalyseur de synthèse, le contenu de CO_2 dans le gaz d'appoint doit être bas que possible, tous est illustré dans la Fig.5.16 [31].

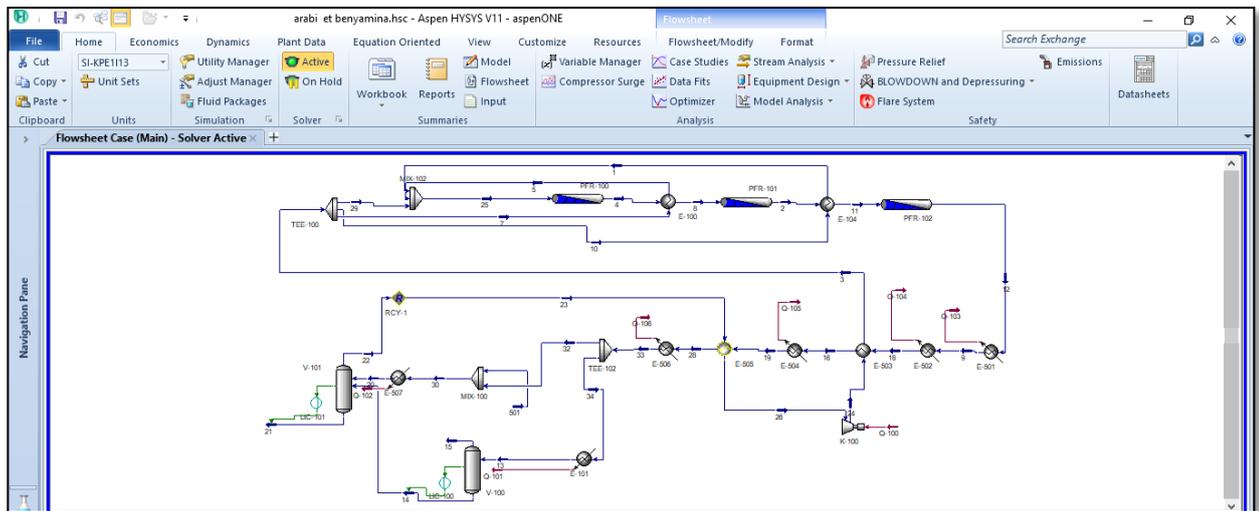


Fig.5.21 - Schéma de simulation de la boucle de synthèse

5.6 Purge des gaz inertes

Le gaz d'appoint contient des petites quantités des gaz inertes telles que l'argon et l'hélium, ces gaz s'accumulent dans la boucle d'ammoniac à des concentrations élevées. Le niveau de ces gaz augmente jusqu'à ce que l'addition de ces gaz avec le gaz d'appoint est le même que la quantité enlevée de la boucle. Le peu de gaz dissout dans le produit liquide seront séparés dans le séparateur, voir Fig.5.17.

La majeure partie de ces inertes et une petite quantité d'ammoniac seront enlevées durant la purge de gaz à basse température et pression partielle.

Le gaz de purge est refroidi dans le refroidisseur (01-E-101) pour condenser l'ammoniac, qui sera séparé dans le séparateur à purge (01-V-100). L'ammoniac liquide est ensuite retourné vers le séparateur d' NH_3 (01-V-101)[48].

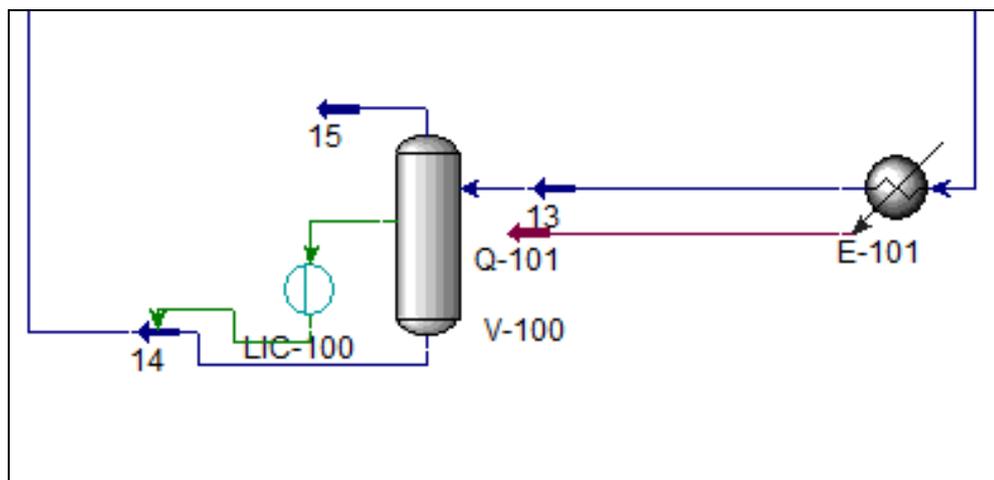


Fig.5.22 - Purge de gaz

5.7 Résultats obtenus à la fin de la loupe

A la fin de la boucle de production de l'ammoniac, on a obtenu de bons résultats dans le stream de gaz purgé (4.04 % NH_3) et dans le stream qui ira au stockage d'ammoniac (99.01 % NH_3), donc une meilleure conversion, ça prouve que le purge de gaz fonctionne efficacement. Ces résultats sont exposés dans la Fig.5.18 et Fig.5.19.

Material Stream: purg gas

| | Mole Fractions | Vapour Phase | Liquid Phase |
|----------|----------------|--------------|--------------|
| Methane | 0.0693 | 0.0693 | 0.0101 |
| Hydrogen | 0.6383 | 0.6383 | 0.0101 |
| Nitrogen | 0.2279 | 0.2279 | 0.0022 |
| Ammonia | 0.0404 | 0.0404 | 0.9724 |
| Argon | 0.0205 | 0.0205 | 0.0049 |
| Helium | 0.0035 | 0.0035 | 0.0002 |

Total: 1,00000

Fig.5.23 - La composition de gaz purgé

Material Stream: 21

| | Mole Fractions | Vapour Phase | Liquid Phase |
|----------|----------------|--------------|--------------|
| Methane | 0.0040 | 0.0532 | 0.0040 |
| Hydrogen | 0.0014 | 0.6777 | 0.0014 |
| Nitrogen | 0.0002 | 0.2498 | 0.0002 |
| Ammonia | 0.9901 | 0.0010 | 0.9901 |
| Argon | 0.0042 | 0.0156 | 0.0042 |
| Helium | 0.0000 | 0.0027 | 0.0000 |

Total: 1,00000

Fig.5.24 - Taux d'ammoniac finale

5.8 Conclusion

Après avoir étudié les deux cas (actuel et design), on constate que la pression de fonctionnement est stable au contraire de la température.

La réaction de synthèse directe entre l'azote et l'hydrogène pour obtenir de l'ammoniac est une réaction exothermique réversible qui doit se dérouler à l'équilibre afin d'obtenir un taux de conversion optimal. La température est un des plus importants facteurs qui influence le taux de conversion ainsi que la longueur des lits catalytiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette recherche est réalisée au niveau du complexe –AOA- "Aljazairia el Omania lil Asmida" à Arzew (Oran), filiale spécialisée dans la production d'engrais azotés, est ainsi que la production d'ammoniac et d'urée. Le but initial de cette recherche est d'étudier et simuler les performances du réacteur de synthèse R-501, qui est le cœur de notre procédé.

La réaction de synthèse directe entre l'azote et l'hydrogène pour obtenir de l'ammoniac est une réaction exothermique réversible qui doit se dérouler à l'équilibre afin d'obtenir un taux de conversion optimal. Le taux de conversion dépend d'une série de facteurs technologique telle que : la température, la pression, les flux de composants, l'activité du catalyseur et autres; par exemple, l'augmentation excessive de la température entraîne la décomposition de l'ammoniac, de sorte que le taux de conversion diminue.

Le contrôle du fonctionnement de la colonne de synthèse de l'ammoniac nécessite un modèle précis, dans notre cas on a simulé avec le modèle thermodynamique Peng Robinson le mélange gazeux " CH₄, H₂, N₂, NH₃, Ar, He " à des pressions qui varient entre (190-192) bar et des températures qui varient entre (370-489)°C.

L'autre objectif de ce travail c'est de réaliser une comparaison de résultats entre la simulation et les données du design fournies par le producteur d'ammoniac, afin que l'erreur puisse être calculée. Les résultats obtenus pour tous les pourcentages molaires des composées sont inférieurs à 0.35, ce qui signifie que le modèle thermodynamique est proche du cas design et que la température n'est pas stable dans le réacteur à cause de la longueur du lit catalytique. Mais on mentionne aussi que le taux d'ammoniac obtenu après la simulation est de 99.01% qui est très satisfaisant.

Les résultats finaux de ce mémoire consistent en la possibilité d'évaluer en permanence les conditions de la colonne de travail, de même que la possibilité de contrôler en permanence le processus et encore la possibilité d'appliquer des stratégies modernes de contrôle optimal et robuste.

Références bibliographiques

- [1] P. Puspitasari et N. Yahya, « Development of ammonia synthesis », in *2011 National Postgraduate Conference*, sept. 2011, p. 1-4. doi: 10.1109/NatPC.2011.6136449.
- [2] M. Courcel et G. Paclem, « Modélisation et simulation par action anticipée rétroaction «Feedforward» avec intégration thermique pour l'étude de l'influence des paramètres opératoires du réacteur catalytique de synthèse d' NH_3 », 2019.
- [3] El Mechta Mohammed Fayçal et Ettayeby Kamel Eddine, « Rapport de stage », Institut National Spécialisé en Formation Professionnelle (INSFP ES-SENIA), oran, de stage, 2019 2018.
- [4] S. Jemeï, *Hybridation, diagnostic et pronostic de piles à combustible: durabilité et fiabilité*. ISTE Group, 2019.
- [5] J. Martin et P. Wauters, *Installations thermiques motrices: Analyse énergétique et exergétique—deuxième édition revue*. Presses univ. de Louvain, 2011.
- [6] G. Bécan, « Conception et caractérisation de microdispositifs en technologie titane pour implants médicaux », PhD Thesis, Université Paris-Saclay, 2021.
- [7] O. Golfa et S. Oumarou Abdou, « Audit de la santé et de la sécurité au travail: cas de l'entreprise CA^{TEL} », PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri, 2020.
- [8] É. Carmona et J. Raimondeau, « Administration de la santé: l'Union européenne et l'OMS », 2021.
- [9] F.-R. Chevreau, « Maîtrise des risques industriels et culture de sécurité: le cas de la chimie pharmaceutique », PhD Thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [10] M. A. Bouaziz, S. Besbes, et H. Attia, « Management Qualité, Sécurité des Denrées Alimentaires, Environnement, Santé et Sécurité au travail: Premiers pas vers le développement durable des entreprises Agroalimentaires ».
- [11] M. Courcel et G. Paclem, « Modélisation et simulation par action anticipée rétroaction «Feedforward» avec intégration thermique pour l'étude de l'influence des paramètres opératoires du réacteur catalytique de synthèse d' NH_3 », 2019.
- [12] V. Alezra, *Toute la chimie pour bien commencer sa licence*. De Boeck Supérieur, 2018.
- [13] « Ammoniac », *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/fabrication-des-grands-produits-industriels-en-chimie-et-petrochimie-42319210/ammoniac-j6135/> (consulté le 4 juin 2022).

- [14] « Ammoniac », *L'Élémentarium*. <https://lelementarium.fr/product/ammoniac/> (consulté le 27 mai 2022).
- [15] « CEPS - Centre for European Policy studies | Knowledge for policy ». https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/ceps-centre-european-policy-studies_en (consulté le 4 juin 2022).
- [16] « aqua_ammonia_24_sds_na_v3_fr-ca ». US Hazard Communication Standard, 10 juin 2016.
- [17] C. Lousteau, « Conversion de la pollution ammoniacale en azote moléculaire par Oxydation en Voie Humide Catalytique (OVHC) », PhD Thesis, Université Claude Bernard-Lyon I, 2013.
- [18] B. RAHOUI et D. SASSI, « MASTER EN INDUSTRIES PETROCHIMIQUES ».
- [19] Max appl, *ammonia principles and industrial practice*. WILEY-VCH, 1999.
- [20] J. Ducamp, A. Bengaouer, P. Baurens, I. Fechete, P. Turek, et F. Garin, « Statu quo sur la méthanation du dioxyde de carbone: une revue de la littérature », *Comptes Rendus Chimie*, vol. 21, n° 3-4, p. 427-469, 2018.
- [21] N. Yahy, « Preparation et caracterisation des catalyseurs a base de nickel-reactivite catalytique en reformage sec du methane », PhD Thesis, Université Mouloud MAMMERI, 2019.
- [22] R. Imbeault, « Électrooxydation de l'ammoniaque et de l'hydrazine en milieu alcalin: Étude de catalyseurs appliqués à l'optimisation de la production d'énergie. », PhD Thesis, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 2015.
- [23] L. Alessio *et al.*, « Chapitre 63-Les métaux: propriétés chimiques et toxicité ».
- [24] « Introduction à la Production D'ammoniac | Organitzem ». <https://organitzemxtu.com/fr/introduction-a-la-production-dammoniac/> (consulté le 4 juin 2022).
- [25] R. Gary, « Il est absurde d'encombrer nos musées d'œuvres d'art et de dépenser par milliards pour la beauté, puis de la laisser détruire gratuitement dans toute sa splendeur vivante. », p. 99.
- [26] P. Arpentiner, « RÉCONCILIATION DE DONNÉES, SIMULATION DE PROCÉDÉS, EQUILIBRES DE PHASES ET SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DES GAZ INDUSTRIELS », PhD Thesis, Université de Lorraine (Nancy), 2021.
- [27] R. Gomri, « Etude, analyse et simulation du reforming primaire (Four de l'industrie d'Ammoniac) ».

- [28] A. Azizi et Y. Boullam, « Etude des performances énergétiques d'un système de liquéfaction de gaz naturel », PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2016.
- [29] N. Sacré, « Étude des dépôts préférentiellement orientés (100) à base d'alliage de platine pour l'électro-oxydation de l'ammoniaque. », PhD Thesis, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 2017.
- [30] A. Paquet, E. Chornet, G. Lantagne, et S. Marie-Rose, « Reformage de gaz de synthèse primaire produit par gazéification de biomasse hétérogène », PhD Thesis, Université de Sherbrooke., 2010.
- [31] AOA, « manuel opératoire ». Arzew.
- [32] S. A. I. ALAVO, C. AHOUANNOU, et P. MEDETON, « Etude d'une unité de récupération des gaz de combustion de chaudière, pour la production du CO2 alimentaire, à la SOBEBRA. », 2020.
- [33] F. Wahl, « Un environnement d'aide aux ingénieurs basé sur une architecture en tâches et sur un module de visualisation de courbes. Application à la conception de procédés de raffinage », PhD Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1994.
- [34] G.-L. Baron, « L'informatique et ses usagers dans l'éducation », PhD Thesis, Université René Descartes-Paris V, 1994.
- [35] G. Pommereuil et A. Luciani, « Un langage de modélisation des comportements complexes de la matière pour la construction d'objets physiques simulables », in *18ème conférence internationale sur la CFAO et les nouvelles technologies de conception et de fabrication*, 1999, p. 75-90.
- [36] A. Gouri, « Thème: simulation d'un train de traitement de gaz à l'aide des outils HYSYS et PRO II ».
- [37] R. Gicquel, *Systèmes énergétiques*, vol. 1. Presses des MINES, 2009.
- [38] A. MIMOUNE et Z. SAADA, « Amélioration de la qualité du pétrole brut LDHP », Master's Thesis.
- [39] A. DJEBBARI, « SIMULATION D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION DE MÉTHANOL A L'AIDE DE L'ASPEN PLUS-HYSYS », Master's Thesis.
- [40] R. Elias et F. Cail, « Exigences visuelles et fatigue dans deux types de tâches informatisées », *Le travail humain*, p. 81-92, 1983.

- [41] ع. الحكيم, بكوش, ع. الله, بيات « Etude de l'effet de l'augmentation de charge GPL (10%) sur l'unité de production du propane dans le module commun champ de Hassi R'mel », 2018.
- [42] R. BOULAGUESSA et M. KERBOUCHE, « Dimensionnement et vérification des paramètres de fonctionnement d'un régénérateur d'amine de l'unité décarbonatation usine CPF au RNS », PhD Thesis, 2020, جامعة غرداية.
- [43] G. Youcef, « OPTIMISATION DES PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT DE L'UNITE DE DECARBONATATION DE CPF QH DE RHOURE NOUSS », 2016.
- [44] S. FEDALI, « Recherche de Nouveaux Réfrigérants: Modélisation et Expérimentation », PhD Thesis, Université de Batna 2, 2016.
- [45] K. Dounya et N. Assia, « Etude de l'efficacité d'injection de gaz chaud pour la prévention et l'élimination des hydrates », 2020.
- [46] A. O. Molina, « Méthodologie pour le placement des capteurs à base de méthodes de classification en vue du diagnostic », PhD Thesis, INSA de Toulouse, 2005.
- [47] mohd et abd el hamid kamaruddin, « An introduction to chemical engineering simulation ». facult of chemical and natrul resources engineering, 2017.
- [48] Bestani B, « synthèse d'ammoniac », université de mostaganem, 2020 2019.

أجريت هذه المذكرة للتحقق من أداء حلقة إنتاج الأمونيا ودراساتها على مستوى مجمع البتروكيماويات (الشركة الجزائرية العمانية للأسمدة)، سمح لنا هذا العمل بفهم مفصل للخطوات المختلفة بدءاً من عملية إزالة الكبريت حتى تخزين الأمونيا. إضافة إلى فهم مبدأ تشغيل بعض المعدات والمعلمات التي تعزز هذه الظاهرة. بعد ذلك قمنا بتغيير بعض المعلمات بمساعدة جهاز المحاكاة اسبن هيسس مثل درجة الحرارة لتحقيق نتيجة مرضية أفضل وأكثر كفاءة بنسبة تحويل 99.01%. الكلمات المفتاحية: الأداء، الأمونيا، اسبن هيسس، المحاكاة، التحويل.

Résumé

On a réalisé ce mémoire afin de vérifier et de bien étudier la performance de la boucle de production de l'ammoniac au niveau du complexe pétrochimique (AOA). Ce travail nous a permis de mieux comprendre les différentes étapes du procédé commençant par désulfuration jusqu'au stockage d'ammoniac. Ainsi de bien comprendre le principe de fonctionnement de certains équipements et les paramètres qui renforcent ce phénomène. Après cela, nous avons modifié certains paramètres à l'aide du simulateur Aspen HYSYS, comme la température, pour obtenir un résultat satisfaisant meilleur et plus efficace avec un taux de conversion de 99,01 %.

Mots clés : performance, ammoniac, Aspen HYSYS, Simulation, conversion.

Abstract

This thesis was carried out in order to verify and study the performance of the ammonia production loop at the level of the petrochemical complex (AOA). This work allowed us to better understand the different stages of the process starting with desulphurization to ammonia storage. Thus, to fully understand the principle of operation of certain equipment and the parameters that reinforce this phenomenon. After that, we modified some parameters using the Aspen HYSYS simulator, such as temperature, to get a better and more efficient satisfactory result with a conversion rate of 99.01%.

Key words: performance, ammonia, Aspen HYSYS, Simulation, conversion.