

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education And Scientific Research
University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Faculty of Sciences and Technology

كلية العلوم والتكنولوجيا

Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2026

رقم :..... / ج. م. ك. ع. ت. // 2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : **INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES**

Option : **GÉNIE PÉTROCHIMIQUE**

THÈME

**Etude de l'optimisation du traitement des eaux au niveau du désorbeur et
l'hydrolyseur d'un procédé de fabrication de l'urée - SORFERT-**

Présenté par

- 1- ABDENOUR, HARB
- 2- ABOUBAKER ESSEDDIK, OULD ELHADOUCHIA

Soutenu le 15/06/ 2026 devant le jury composé de :

Président :	Pr. TERKHI	PR	Université de Mostaganem
Examineur :	Dr. KHELLOUL Nawel	MCA	Université de Mascara
Rapporteur :	Dr. BOUBEGRA Naima	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Nous remercions tout d'abord « Allah » d'avoir donné le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans de bonnes conditions.

Nos remerciements vont également à notre encadreur, Mme BOUBEGRA, votre compétence et votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. On vous remercie pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitude et de notre grande estime. Veuillez bien monsieur recevoir nos remerciements pour le grand honneur que vous nous avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.

Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Mme TERKHI en étant président du jury et Mme KHELLOUL d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation de la graduation à la poste graduation.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cet humble travail, reçoivent notre gratitude et notre reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

**Mon cher père,
A ma chère mère,**

Qui n'ont jamais cessé, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs, pour tous leurs sacrifices, leur amour, et leurs prières tout au long de mes études, que Dieu vous garde pour moi.

A mes cher frères « Mohamed et Abderrahmane », ma sœur

Pour leurs encouragements permanents, leur amour et leur soutien moral, tout au long de mes études.

A Mon binôme, « HARB Abdenour »,

Pour m'avoir soutenue tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

ABOUBAKER ESSEDJIK

Dédicaces

Je dédie Ce Mémoire :

À Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments,

Pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

À Ma femme qui a été toujours là à mes côtés et me soutenir durant ces 2 années

A mes enfants Wassim et manissa

A mes frères, mes sœurs

A mes collègues

Pour le soutien et l'amour qu'ils me réservent je leurs souhaite une vie pleine du bonheur et de succès.

À mon binôme « ABOUBAKER ESSEDIK » pour sa collaboration et sa patience tout au long de ce mémoire.

À tous mes amies pour le soutien moral je leurs souhaite plus de succès.

HARB Abdenour

SOMMAIRE / TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	ii
Dédicaces	iii-iv
Résumé / Abstract	v
Introduction Générale	1
CHAPITRE I Présentation du complexe « SORFERT »	3
I.1 Introduction	3
I.2 Situation Géographique du Complexe SORFERT	4
I.3 Matières premières et produits finis	4
I.3.1 Les matières premières nécessaires au complexe	4
I.3.2 Les produits finis	5
I.4 Principales Zones du Complexe	6
I.4.1 Zone procédé	6
I.4.1.1 Unité d'ammoniaque	6
I.4.1.2 Unité d'urée	7
I.5 Laboratoire	7
I.5.1 Importance du laboratoire	7
I.5.2 Rôle du laboratoire	8
I.5.3 Différentes sections de laboratoire	8
I.6 Impact environnemental	9
I.7 Conclusion	10
CHAPITRE II Généralités sur l'urée : Production et domaines d'application	11
II.1 Introduction	11
II.2 Définition de l'urée	12
II.3 Différents types d'urée	12
II.4 L'utilisation	12
II.4.1 Urée granulée	12
II.4.2 Urée solution	13
II.5 Propriétés de l'urée	13
II.6 Processus d'urée	14
II.6.1 Procédé Stamicarbon	14
II.6.2 Procédé SnamProgetti	15
II.6.3 Procédé Mitsui-Toatsu-Toyo	16
II.6.4 Procédé Montedison/Technimont	17
CHAPITRE III Description de la section désorber et hydrolyser	19
III.1 Introduction	19
III.2 Description du processus	21
III.2.1 Section de traitement des eaux usées d'une usine d'urée conventionnelle	21
III.2.2 Désorption et hydrolyse au niveau de complexe SORFERT	22

III.3 Conclusions	23
CHAPITRE IV Simulation des deux colonnes Désorber et Hydrolyser de l'unité d'urée de SORFERT et Résultats et interprétations	24
IV.1 Introduction	24
IV.2 Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs	24
IV.3 Utilisation de la simulation	25
IV.4 Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS	25
IV.4.1 Concepts de base du simulateur HYSYS	25
IV.4.2 Caractéristiques principales de HYSYS	26
IV.5 Principe d'utilisation de HYSYS	26
IV.6 Modèles thermodynamiques de HYSYS	27
IV.6.1 Choix du modèle thermodynamique	27
IV.6.2 Modèle UNIQUAC	27
IV.7 Procédures de simulation par HYSYS	28
IV.8 Données de la simulation	29
IV.9 Discussions des résultats	31
IV.9.1 Comparaison entre les valeurs du cas design et les valeurs du cas design simulé	31
IV.9.1 Comparaison entre les valeurs du cas design et les valeurs du cas design simulé	31
IV.9.2 Conclusion	33
IV.10 Simulation du cas actuel de l'unité de désorber et hydrolyser	33
IV.10.1 Introduction	33
IV.11 Étude comparative de débit et la composition à la sortie des trois équipements	34
IV.11.1 1 Interprétation	35
IV.12 Optimisation des paramètres opératoires	36
IV.12.1 Introduction	36
IV.12.2 Choix du courant à optimiser	36
IV.12.3 Exécution du programme	37
IV.13 Estimation du coût lié à l'utilisation de vapeur	38
Conclusion Générale	40
Références Bibliographiques	42
Annexes	44

LISTE DES TABLEAUX

N° Tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I.1	Fiche technique du complexe SORFERT	4
Tableau II.1	Propriétés de l'urée	13
Tableau IV.1	Données d'entrée et de sortie du simulateur du premier désorbeur 028C002 (cas design)	29
Tableau IV.3	Données d'entrée et de sortie du simulateur de l'hydrolyser 028C003 (cas design)	30
Tableau IV.9	Principaux résultats obtenus par simulation comparés aux valeurs design au niveau du premier désorbeur	31
Tableau IV.10	Principaux résultats obtenus par simulation comparés aux valeurs design au niveau de l'hydrolyser	32
Tableau IV.11	Principales données d'entrée réelles du simulateur pour les trois équipements	33
Tableau IV.12	Limites des paramètres opératoires	36
Tableau IV.13	Résultat de l'optimisation	38

LISTE DES FIGURES

N° Figure	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Vue aérienne du complexe SORFERT	4
Figure I.2	Molécule de NH_3	5
Figure I.3	Molécule d'urée	6
Figure I.4	Plan général du complexe SORFERT	10
Figure II.1	Procédé Stamicarbon	14
Figure II.2	Schéma de principe du procédé Stamicarbon de production d'urée	15
Figure II.3	Procédé SnamProgetti	16
Figure II.4	Procédé Mitsui-Toatsu-Toyo	16
Figure II.5	Procédé Montedison/Technimont	17
Figure III.1	Boucle de traitement des eaux usées d'une usine d'urée conventionnelle	20
Figure IV.1	Choix du modèle thermodynamique (UNIQUAC)	27
Figure IV.2	Interface du logiciel HYSYS	28
Figure IV.3	Points de sortie pour la comparaison	32

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET NOMENCLATURE

Abréviations

Abréviation	Signification
SORFERT	SONATRACH ORASCOM FERTILISER
SONATRACH	Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures
ORASCOM	ORASCOM Construction Industries (entreprise égyptienne)
STAMICARBON	Procédé de production d'urée
HYSYS	Hyprotech System — simulateur de procédés AspenTech
UNIQUAC	Universal QUAsi Chemical (modèle thermodynamique)
SCR	Réduction Catalytique Sélective (Selective Catalytic Reduction)
IDR	Isobarique Double Recycle
ACES	Advanced process of Cost and Energy Saving
GN	Gaz Naturel
RTO	Réseau de Transport par canalisation Ouest-Algérie
Ppm	Parties Par Million (unité de concentration massique)
DA	Dinar Algérien (monnaie nationale)
HP	Haute Pression
BP	Basse Pression
t/j	Tonnes par jour
t/h	Tonnes par heure
kg/h	Kilogrammes par heure
kmol/h	Kilogrammes-moles par heure
Bar	Unité de pression (1 bar $\approx$ 0,987 atm)

Nomenclature chimique

Symbole / Formule	Désignation
NH ₃	Ammoniac (ammoniaque)
CO ₂	Dioxyde de carbone
CO(NH ₂) ₂	Urée (carbamide)
H ₂ O	Eau
N ₂	Diazote (azote moléculaire)
H ₂	Dihydrogène
NH ₂ COONH ₄	Carbamate d'ammonium
HCNO	Acide cyanhydrique / acide cyanique
NO _x	Oxydes d'azote
ΔHR	Enthalpie de réaction (kJ/mol)

LISTE DES ÉQUIPEMENTS

Section Traitement des Eaux Usées — Unité d'Urée SORFERT

Code TAG	Désignation	Type d'équipement	Rôle principal
028C002	Premier désorbeur	Colonne de désorption	Élimination de NH_3 et CO_2 dissous par stripping vapeur — alimentation principale
028C003	Hydrolyser	Réacteur / Colonne	Hydrolyse thermique de l'urée résiduelle à 210 °C / 20 bars $\rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2$
028C004	Deuxième désorbeur	Colonne de désorption	Désorption finale des composés azotés issus de l'hydrolyser
028E007	Échangeur 2ème désorbeur	Échangeur de chaleur	Préchauffage / refroidissement du courant alimentant le 2ème désorber
028E021	Échangeur hydrolyser	Échangeur de chaleur	Récupération d'énergie thermique sur le circuit de l'hydrolyser
028E004	Reflux condenseur	Condenseur	Condensation des vapeurs de tête du désorber pour le reflux
028D001	Start-up cooler	Refroidisseur	Refroidissement lors des phases de démarrage de l'unité
028P006A	Pompe alimentation hydrolyser	Pompe centrifuge	Transfert du liquide vers l'hydrolyser 028C003
028P003A	Pompe alimentation désorbeur	Pompe centrifuge	Transfert du liquide vers le premier désorber 028C002
028P002A	Pompe de reflux	Pompe centrifuge	Recirculation du reflux liquide en tête du désorber 028C002

Note : La codification 028 désigne la section de traitement des eaux usées (Waste Water Treatment) de l'unité d'urée du complexe SORFERT. Les lettres C, E, P et D correspondent respectivement aux colonnes, échangeurs, pompes et ballons (drums).

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'optimisation du traitement des eaux au niveau du désorber et de l'hydrolyser d'un procédé de fabrication de l'urée au complexe SORFERT (SONATRACH ORASCOM FERTILISER), situé dans la zone industrielle d'Arzew, Oran.

Le complexe SORFERT produit de l'ammoniac et de l'urée granulée en utilisant le procédé STAMICARBON.

Les eaux usées générées lors de la production contiennent de l'urée, de l'ammoniac et du dioxyde de carbone qui doivent être éliminés avant rejet afin de respecter les normes environnementales et récupérer ces composés précieux.

L'objectif de ce travail consiste à simuler et à optimiser le fonctionnement des deux désorbers (028C002 et 028C004) et de l'hydrolyser (028C003) à l'aide du simulateur de procédé ASPEN HYSYS V10, en utilisant le modèle thermodynamique UNIQUAC. Les résultats de la simulation du cas design ont montré une bonne concordance avec les valeurs de design réelles, avec une erreur inférieure à 10%.

L'analyse des cas actuels a permis d'identifier les dysfonctionnements du système, notamment un excès de vapeur à l'entrée de l'hydrolyser et un gaspillage d'eau à la sortie vapeur du premier désorbeur. L'optimisation des paramètres opératoires a conduit à des recommandations permettant un gain économique dépassant quatorze millions de dinars par an.

Mots-clés : *Désorber, Hydrolyser, HYSYS, UNIQUAC, Optimisation*

Abstract

This work focuses on the study of the optimization of water treatment at the desorber and hydrolyzer level of a urea manufacturing process at the SORFERT complex (SONATRACH ORASCOM FERTilizer), located in the industrial zone of Arzew, Oran.

The SORFERT complex produces ammonia and granulated urea using the STAMICARBON process. Wastewater generated during production contains urea, ammonia and carbon dioxide that must be removed before discharge in order to comply with environmental standards and recover these valuable compounds.

The objective of this work is to simulate and optimize the operation of the two desorbers (028C002 and 028C004) and the hydrolyzer (028C003) using the process simulator ASPEN HYSYS V10, using the UNIQUAC thermodynamic model. Simulation results for the design case showed good agreement with actual design values, with an error of less than 10%.

Keywords : *Desorber, Hydrolyzer, HYSYS, UNIQUAC, Optimization*

ملخص

يركز هذا العمل على دراسة وتحسين عملية معالجة المياه الصناعية المستعملة على مستوى برج نزع الغازات (Desorber) وجهاز التحلل المائي (Hydrolyzer) في وحدة إنتاج اليوريا التابعة لمركب سورفيت (SORFERT) – شركة سوناطراك وأوراسكوم للأسمدة)، الواقع في المنطقة الصناعية بأرزويو، وهران. يقوم مركب سورفيت بإنتاج الأمونيا واليوريا المحببة باستخدام التقنية الألمانية المتقدمة تيسن كروب أودي (Thyssen Krupp UHDE). وتحتوي المياه العادمة الناتجة عن عملية الإنتاج على نسب معتبرة من اليوريا، الأمونيا، وثنائي أكسيد الكربون، والتي يجب إزالتها ومعالجتها بدقة قبل التخلص منها، وذلك تماشياً مع المعايير البيئية الصارمة، بالإضافة إلى الرغبة في استرجاع هذه المركبات ذات القيمة الاقتصادية العالية.

يتمثل الهدف الأساسي من هذا المشروع في محاكاة وتحسين الكفاءة التشغيلية لبرجي نزع الغازات (028C002 و 028C004) وجهاز التحلل المائي (028C003) باستخدام برنامج المحاكاة العالمي الأحدث ASPEN HYSYS V10، مع اعتماد النموذج الثرموديناميكي UNIQUAC المناسب للأنظمة المحتوية على الإلكتروليتات والمذيبات القطبية. وقد أظهرت نتائج محاكاة الحالة التصميمية (Design Case) توافقاً ممتازاً ودقيقاً جداً مع القيم التصميمية الحقيقية للمصنع، حيث بلغت نسبة الخطأ المحسوبة أقل من 10%، مما يثبت صلاحية ودقة النموذج المعتمد.

من جهة أخرى، سمح تحليل الحالة التشغيلية الحالية والواقعية للوحدة بالكشف عن بعض الاختلالات والمشاكل التقنية، أبرزها وجود تدفق مفرط وزائد للبخر عند مدخل جهاز التحلل المائي، إلى جانب هدر وضياح كميات معتبرة من المياه عند المخرج البخاري لبرج النزع الأول. وبناءً على هذه المعطيات، تم إجراء دراسة أمثلة وتحسين للمتغيرات التشغيلية (Operating Parameters Optimization)، والتي أدت إلى تقديم توصيات تقنية هامة تسمح بتقليص استهلاك البخار بمعدل 1.2 طن/ساعة، مما يحقق عائداً وفاقاً اقتصادياً كبيراً للمركب يتجاوز أربعة عشر (14) مليون دينار جزائري سنوياً (DA/an)، مع ضمان خروج مياه نقية مطابقة للمواصفات المطلوبة تحتوي على أقل من 1 جزء في المليون (ppm) من اليوريا.

الكلمات المفتاحية: برج نزع الغازات، جهاز التحلل المائي، HYSYS، النموذج الثرموديناميكي UNIQUAC، الأمثلة والتحسين.

Introduction Générale

L'eau a une valeur incontestable, qu'elle soit utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, les loisirs, le transport ou la production d'énergie, pour cela le traitement des eaux usées des usines industriels est essentiel. Le traitement de l'eau a pour but d'éliminer les déchets du procédé. Plusieurs procédés ont été suggérés pour le traitement en raison des nécessités actuelles de protection de l'environnement et des possibilités de transformer ce flux de déchets en une précieuse eau d'alimentation de chaudière à haute pression ou eau de refroidissement par exemple.

Notre projet de fin d'étude a été réalisé au niveau de complexe SORFERT ; ce dernier a été construit pour la production d'ammoniac (capacité nominale 2 x 2200 t/j) et d'urée granulée (capacité nominale de 3450 t/j) accompagnées des services et installations hors site nécessaires aux fins de l'installation.

Vu le rôle primordial qu'il joue récemment dans l'économie du pays, le complexe industriel SORFERT Fertiliser d'Arzew est parmi les plus importantes réalisations industrielles de la chaîne de transformation des hydrocarbures en Algérie, il a été conçu pour synthétiser de l'ammoniac liquide et produire de l'urée engrais en utilisant le procédé STAMICARBON.

L'objectif de notre travail, qui s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'étude, consiste à l'optimisation des quantités d'eau et les paramètres de fonctionnement, au niveau du desorber et l'hydrolyser et d'améliorer l'élimination de l'urée, de l'ammoniac et du dioxyde de carbone du liquide traité en sortie de la boucle de traitement des eaux usées. Le but étant l'obtention d'un liquide pur, qui contient 1 ppm d'urée.

Notre travail est structuré comme suit :

La première partie est théorique ; elle est composée de trois chapitres :

- Chapitre I : Présentation du complexe « SORFERT ».

- Chapitre II : Généralités sur l'urée : Production et domaines d'application.
- Chapitre III : Description de la section desorbeur et hydrolyseur.

La deuxième partie est expérimentale, elle est composée d'un seul chapitre :

- Chapitre IV : Simulation des deux colonnes Desorber et Hydrolyser de l'unité d'urée de SORFERT et Résultats et interprétations.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion récapitulant l'essentiel de nos résultats.

Chapitre I : Présentation du complexe « SORFERT »

I.1. Introduction

Le complexe pétrochimique SORFERT (SONATRACH ORASCOM FERTILISANT) est l'un des plus grands complexes dans le pays, c'est un site industriel pétrochimique de production d'ammoniac et d'urée implanté à la zone industrielle d'Arzew (Oran). Cette usine fait partie d'un partenariat entre l'entreprise algérienne SONATRACH 49 % et l'entreprise égyptienne ORASCOM 51 % de la construction industries établie le 10 juin 2007, sous la loi 51/49 exploitée par la Société SONATRACH en Algérie. Il a été conçu pour assurer le transport, sous forme d'ammoniaque liquide et de l'urée engrais.

Ce complexe serait le plus important dans toute l'Afrique et le Moyen-Orient. Pratiquement, il se classe à la troisième position parmi les producteurs mondiaux d'engrais azoté. [1]

Tableau I.1 : Fiche technique du complexe SORFERT [2].

Paramètres	Valeur
Superficie	37 hectares
Construction	ORASCOM construction industries. CI
Date de construction	Février 2007
Date de démarrage	Décembre 2011
Alimentation	02 trains de ammoniac
Procédé	STAMICARBON
Nombre de train	01 train
Stockage d'urée	Un hangar de capacité 100000 tonnes
Température de chargement	Température ambiante

I.2. Situation Géographique du Complexe SORFERT

Le complexe se situe de façon stratégique dans la zone industrielle d'Arzew, dans le Nord-Ouest de l'Algérie, à 6 Km de la ville d'Arzew et 40 Km à l'Est d'Oran, à proximité de trois ports algériens. Il couvre une superficie de 37 hectares et se compose de plusieurs zones.



Figure I.1 : Vue aérienne du complexe SORFERT [2].

I.3. Matières premières et produits finis

I.3.1. Les matières premières nécessaires au complexe [3]

Les matières premières nécessaires aux complexes des Fertilisants de SORFERT sont:

- **Le gaz naturel (hydrogène) :** Le gaz naturel est un combustible fossile composé d'un mélange d'hydrocarbures présent naturellement dans les roches poreuses sous forme gazeuse. Le gaz naturel utilisé provient de la zone R.T.O
- **L'oxygène :** L'oxygène est un élément nécessaire dans l'usine, il provient de l'air atmosphérique.
- **L'azote (nitrogène) :** L'azote est un élément clé dans le procédé, et on l'obtient à partir de l'air atmosphérique.
- **Le dioxyde de carbone (CO₂) :** Le dioxyde de carbone, est à la fois un produit et aussi une matière première, on l'obtient du procédé d'ammoniac, et on l'utilise pour produire de l'urée.
- **La vapeur d'eau :** La vapeur d'eau est primordiale afin que le procédé se déroule, on l'utilise partout dans le procédé et même dans les utilités, tel que la production d'électricité.
- **Ammoniac qui est un produit construire en étape précédant (Train 1 et 2)**

I.3.2. Les produits finis

Les produits finis du Complexe des Fertilisants de SORFERT sont :

- **L'ammoniac (NH_3) : 99,8% ;**

L'ammoniac est un composé chimique (Fig. I.2), de formule NH_3 (groupe générique des nitrures d'hydrogène). Dans les conditions de température et de pression ordinaire, c'est un gaz. Celui-ci est produit industriellement en quantité gigantesque par le procédé Haber-Bosch à partir de diazote et de dihydrogène (c'est un des composés les plus synthétisés au monde).

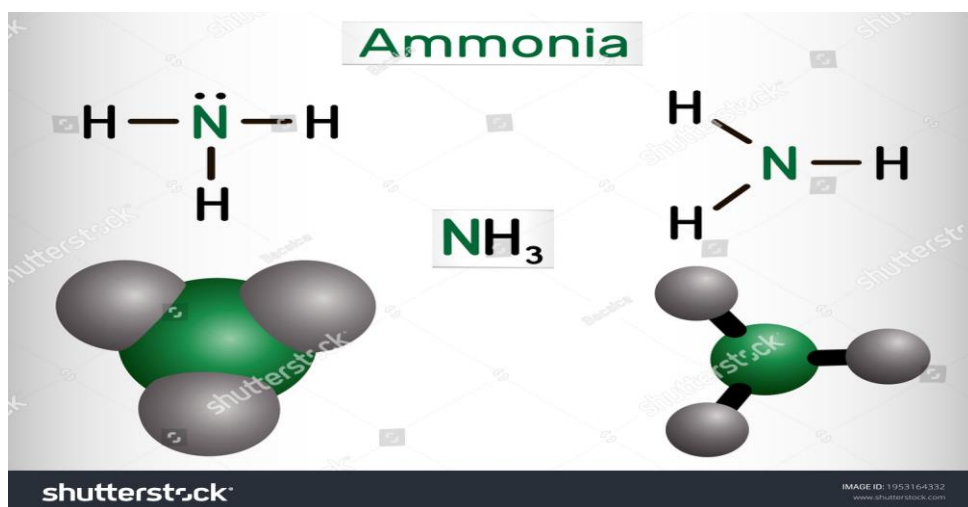


Figure I.2 : Molécule de NH_3 [4].

- **L'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) granulés**

L'urée ou carbamide est un composé organique de formule chimique $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. C'est aussi le nom de la famille des dérivés de l'urée de formule générale $(\text{R}_1, \text{R}_2) \text{N}-\text{CO}-\text{N}(\text{R}_3, \text{R}_4)$.

La plus importante utilisation actuelle se fait sous la forme d'engrais azotés. L'urée est hydrolysée en ammoniac et en dioxyde de carbone dans le sol.

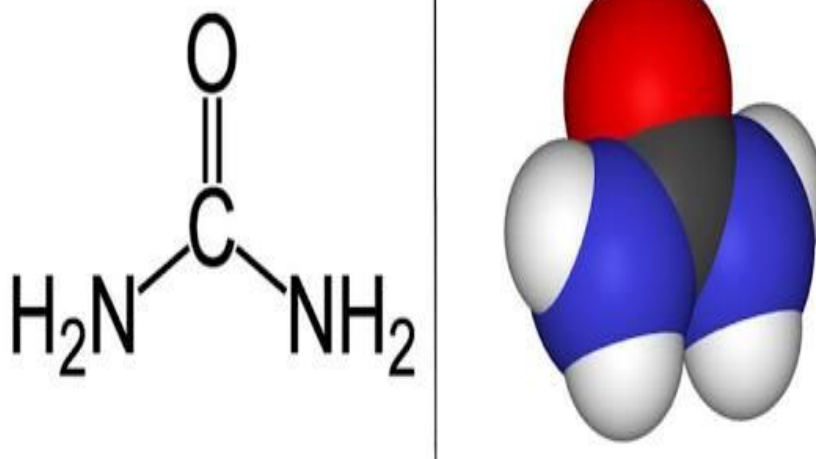


Figure I.3 : Molécule d'urée [4].

I.4. Principales Zones du Complexe

Le complexe SORFERT se compose de trois zones :

I.4.1 Zone procédé [5]

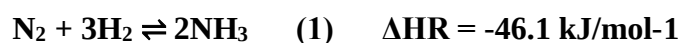
Elle est composée de deux trains identiques, indépendants et fonctionnant en parallèle d'une capacité de production de 2200 t/j chacun. Une unité de production de vapeur et unité d'énergie électrique et de l'air instrument.

Le gaz naturel d'alimentation arrivant aux limites de batterie de l'usine est également distribuée à chacun des trains par un réseau de canalisations, la capacité contractuelle installée est de 200 000 m³ de GN.

I.4.1.1 Unité d'ammoniac

La production est basée sur le gaz naturel pour obtenir de l'hydrogène et de l'azote à partir de l'air. Etant donné que le gaz naturel algérien contient l'hélium et le mercure, des unités additionnelles sont installées pour les extraire.

Actuellement la fabrication d'ammoniac repose sur la synthèse directe à partir des éléments de base comme N₂ et H₂ c'est-à-dire tout simplement sur la réaction :



I.4.1.2 Unité d'urée

L'urée est produite à partir d'ammoniac et de dioxyde de carbone selon la réaction :



La réaction se déroule en deux étapes : d'abord la formation de carbamate d'ammonium, puis la déshydratation de ce carbamate pour donner l'urée.

I.5. Laboratoire

En manipulant, le chimiste est exposé en permanence au danger, en conséquence dans l'organisation industrielle, le département de sécurité assure l'application des consignes de sécurité pour prévenir tout incident et intervention si besoin.

I.5.1. Importance du laboratoire

Jugement de la qualité, le laboratoire représente le fruit de l'efficacité de n'importe quel complexe du fait qu'il est le des produits traités durant le processus. Il veille au bon déroulement des unités du traitement et de la matière première; son personnel effectue les analyses des produits finis pour être commercialisé à l'intérieur du pays et de même pour être destiné à l'exploration.

I.5.2. Rôle du laboratoire

Le laboratoire joue un rôle important dans l'industrie chimique et pétrochimique. Il permet le suivi et le contrôle continu de la qualité des produits finis et intermédiaires.

I.5.3. Différentes sections de laboratoire

I.5.3.1 Section de contrôle

Cette section est chargée de surveiller et de contrôler en permanence toutes les opérations chimiques et physiques qui se déroulent dans les différentes unités du complexe.

I.5.3.2 Section des analyses chimiques (analyse des eaux)

Dans cette section, on effectue des tests chimiques pour vérifier la qualité des eaux de procédé, des eaux de refroidissement, des eaux alimentaires des chaudières, et des eaux usées avant leur rejet dans l'environnement.

I.6. Impact environnemental

I.6.1. Pollution des eaux

Les eaux usées générées par l'usine d'urée contiennent principalement de l'urée, de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Ces composés, si rejetés directement, peuvent causer des dommages graves à l'environnement aquatique et terrestre.

I.6.2. Eaux résiduelles industrielles au niveau du complexe SORFERT

Le complexe SORFERT produit différentes catégories d'eaux résiduelles industrielles qui nécessitent un traitement spécifique avant tout rejet ou réutilisation. La section de traitement des eaux usées est donc un élément crucial du fonctionnement du complexe.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le complexe industriel SORFERT, sa situation géographique, ses matières premières, ses produits finis, ses principales zones ainsi que son laboratoire et son impact environnemental. Le complexe SORFERT est un site industriel de très grande envergure, dont la production d'ammoniaque et d'urée joue un rôle fondamental dans l'économie algérienne.

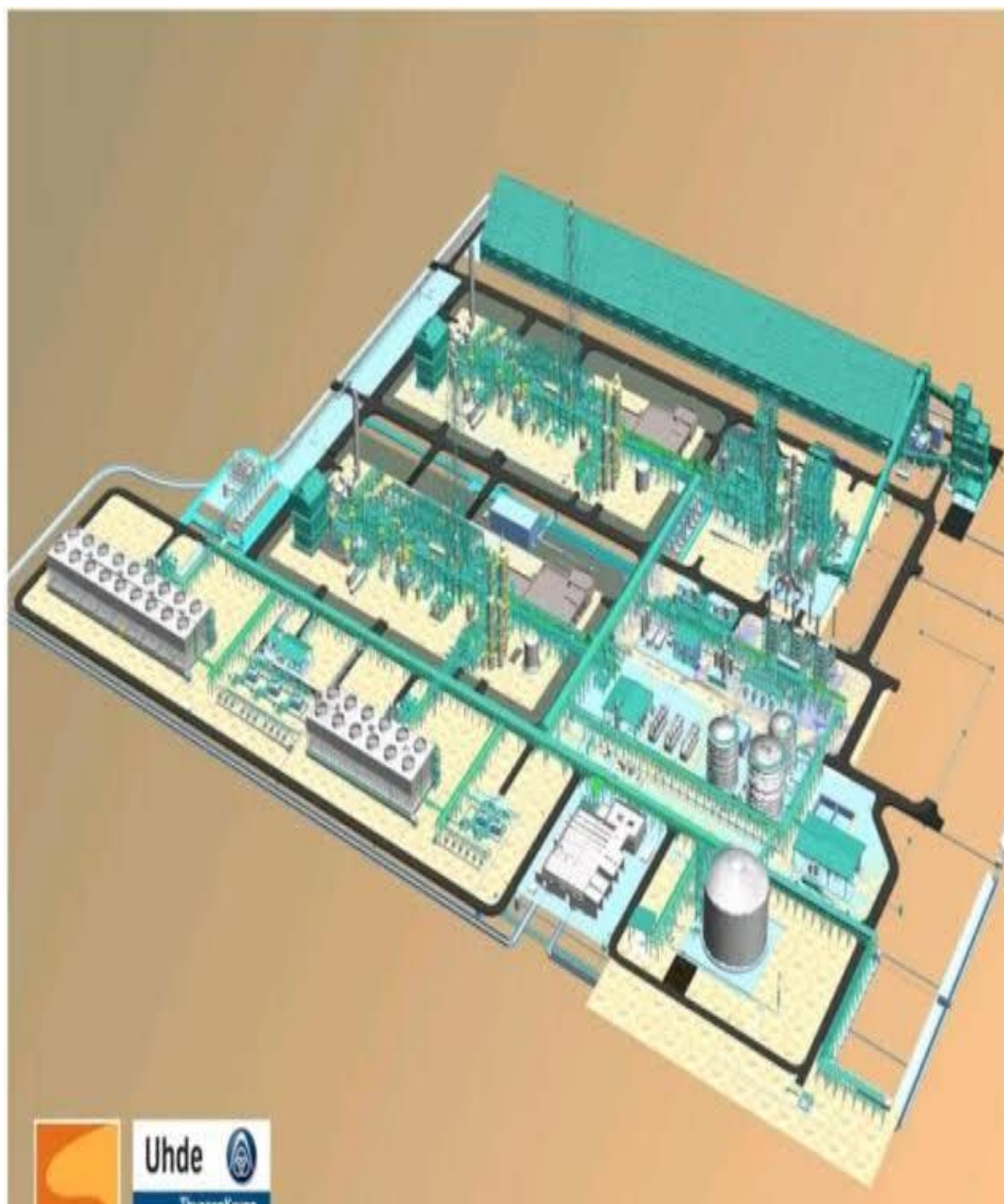


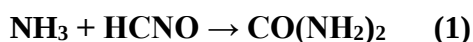
Figure I.4 : Plan générale du complexe de SORFERT [8].

Chapitre II : Généralités sur l'urée : Production et domaines d'application

II.1. Introduction

L'urée a été découverte dans l'urine humaine par le pharmacien H.M. ROULLE en 1773, qui proviennent de la dégradation de trois acides aminés (arginine, citrulline et ornithine), l'urée naturelle est éliminée au niveau des reins par l'urine [9].

En 1828, après avoir maîtrisé la synthèse de l'acide cyanique (HOCN) ; $\text{H}-\text{O}-\text{C}\equiv\text{N}$, le Jeune chimiste allemand Friedrich WOHLER a découvert, que l'urée peut être produite à partir d'ammonia et d'acide cyanhydrique :



Cette préparation a marqué une étape scientifique dans la mesure où l'urée est devenue le premier composé organique préparé, par synthèse, à partir de matériaux inorganiques. Auparavant, on pensait que les composés organiques ne pouvaient être produits que par des organismes vivants.

Le procédé actuel de synthèse d'urée à partir d'ammoniac et de dioxyde de carbone est connu en principe depuis 1868, mais sa production commerciale a débuté en 1922 en Allemagne, en 1932 aux États-Unis et en 1935 en Angleterre.

II.2. Définition de l'urée

L'urée est un composé organique dont la formule chimique est $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ou $(\text{NH}_2)\text{CONH}_2$. Elle est aussi connue sous le nom de carbamide. L'urée est le premier composé organique synthétisé en laboratoire à partir de composants inorganiques.

II.3. Différents types d'urée

Il existe principalement deux formes commerciales d'urée : l'urée granulée et l'urée en solution. Ces deux formes ont des applications distinctes selon les besoins industriels et agricoles.

II.4. L'utilisation

II.4.1. Urée granulée

L'urée granulée est principalement utilisée comme engrais azoté en agriculture. Sa teneur élevée en azote (46,2%) en fait l'engrais azoté le plus concentré disponible sur le marché. Elle est également utilisée dans la fabrication de résines et de plastiques.

II.4.2. Urée solution

L'urée en solution est utilisée dans les applications industrielles, notamment dans les systèmes de réduction catalytique sélective (SCR) pour réduire les émissions de NO_x des moteurs diesel et des centrales électriques.

II.5. Propriétés de l'urée

Tableau II.1 : Propriétés de l'urée [9].

Propriété	Valeur
Formule chimique	CO(NH ₂) ₂
Masse molaire	60,06 g/mol
Point de fusion	133,5 °C
Densité	1,32 g/cm ³
Solubilité dans l'eau (25°C)	100 g/100 mL
Teneur en azote	46,2 %
Aspect	Solide blanc cristallin

II.6. Processus d'urée

La synthèse industrielle de l'urée repose sur la réaction de l'ammoniac (NH₃) avec le dioxyde de carbone (CO₂) à hautes températures et pressions. Cette réaction se déroule en deux étapes:

Étape 1 : $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{COONH}_4$ (Formation de carbamate)

Étape 2 : $\text{NH}_2\text{COONH}_4 \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ (Déshydratation)

II.6.1. Procédé Stamicarbon

Le procédé Stamicarbon (DSM, Pays-Bas) est l'un des procédés les plus répandus au monde pour la production d'urée. Il utilise un concept de recyclage total du carbamate et de l'ammoniac non converti.

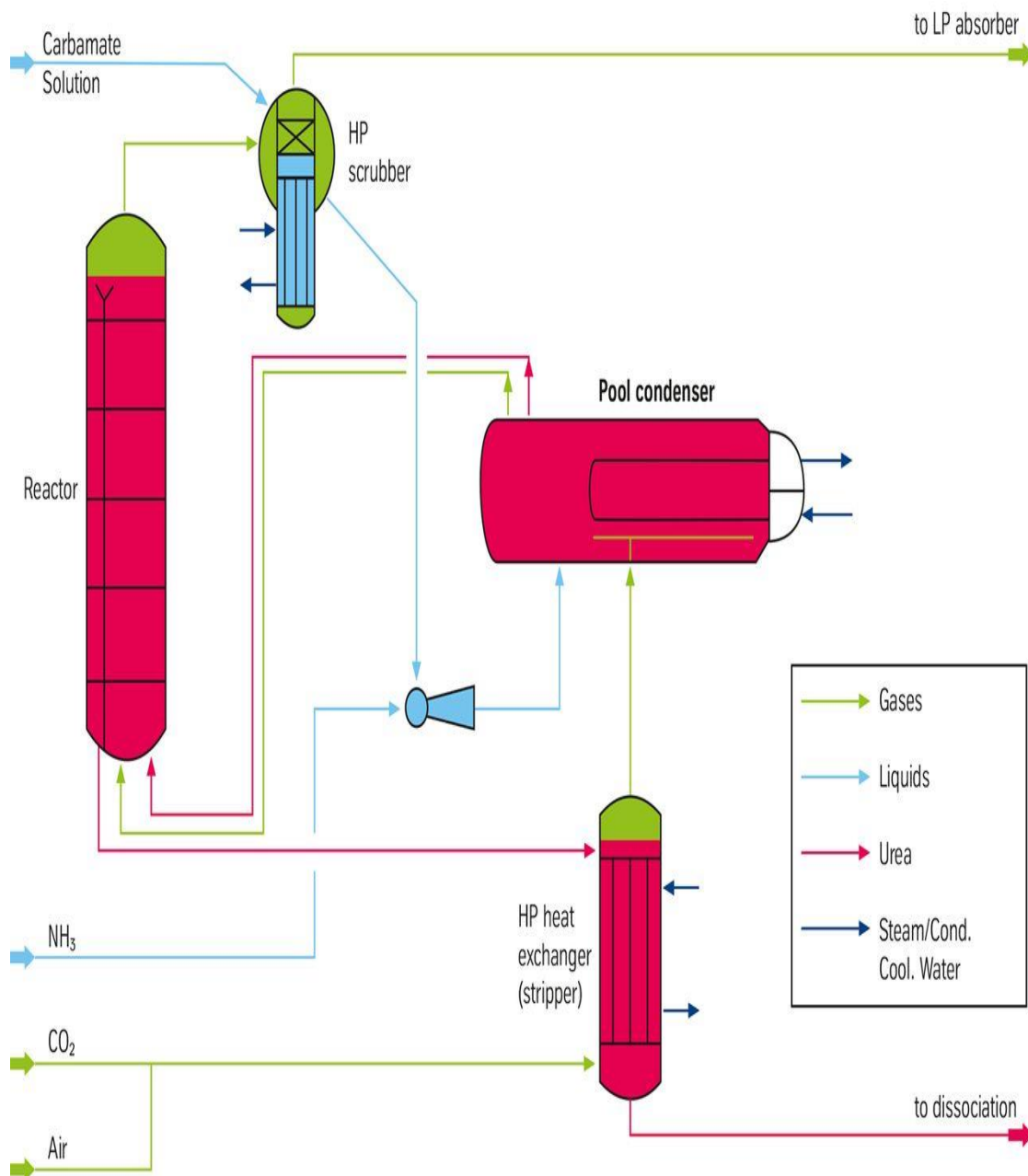


Figure II.1: Procédé du Stamicarbon

II.6.1.1. Processus Stamicarbon au niveau de Sorfert

Au niveau du complexe SORFERT, le procédé Stamicarbon est utilisé avec la technologie Thyssen Krupp UHDE. La section haute pression comprend le réacteur d'urée, le strippeur CO₂ et le condenseur haute pression. La section basse pression assure la récupération du carbamate non converti.

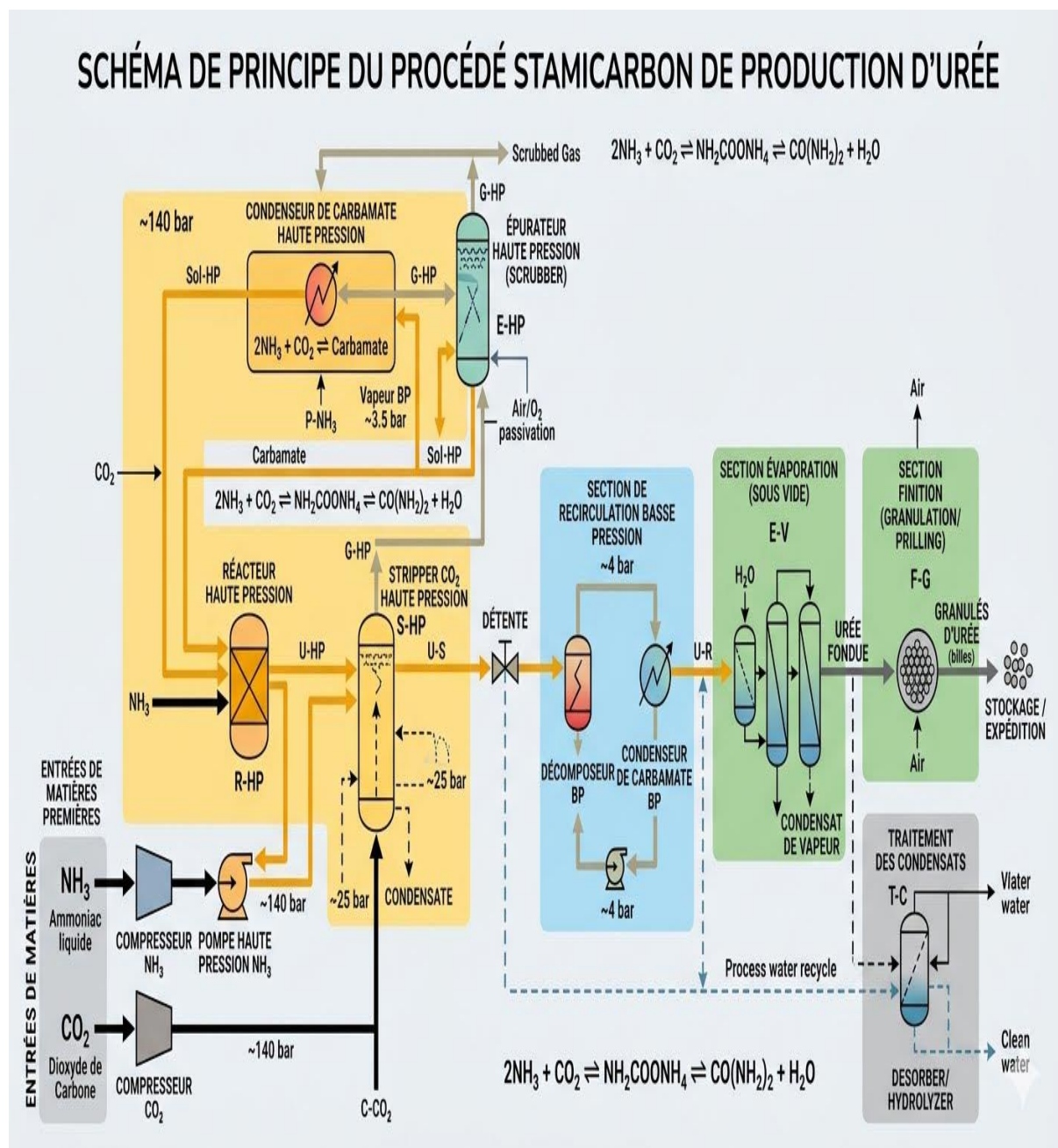


Figure II. 2 : SCHÉMA DE PRINCIPE DU PROCÉDÉ STAMICARBON DE PRODUCTION D'URÉE

II.6.2. Procédé SnamProgetti

Le procédé SnamProgetti utilise le stripping à l'ammoniac. Dans ce procédé, l'ammoniac en excès est utilisé comme agent de stripping pour décomposer le carbamate.

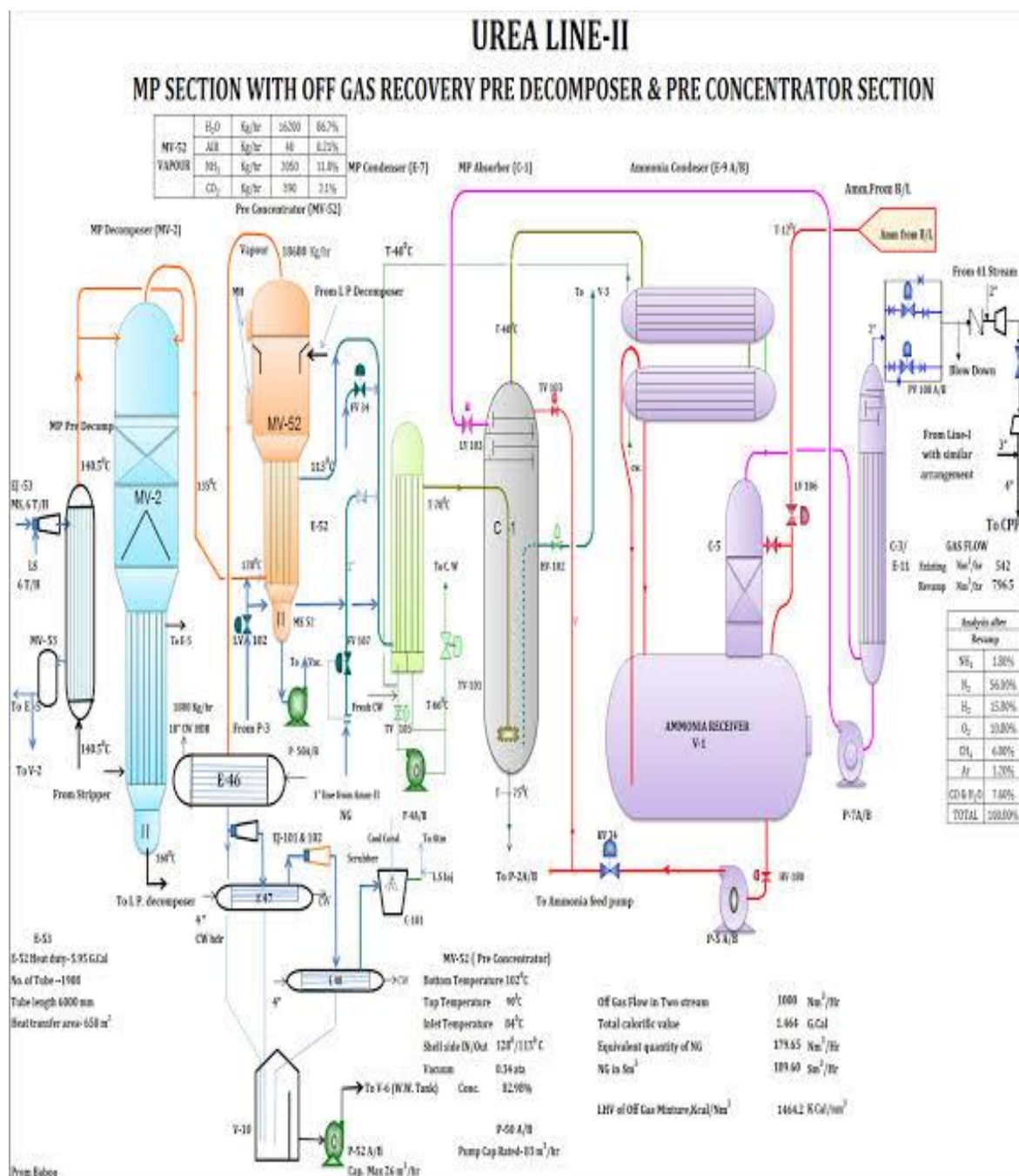


Figure II. 3 :Procédé SnamProgetti

II.6.3. Procédé Mitsui-Toatsu-Toyo

Le procédé Mitsui-Toatsu-Toyo est une méthode industrielle continue de fabrication de l'urée par réaction entre l'ammoniac (NH_3) et le dioxyde de carbone (CO_2). Sa principale caractéristique est l'utilisation d'un système de stripage (séparation) sous haute pression pour recycler efficacement les gaz non convertis et réduire la consommation d'énergie.

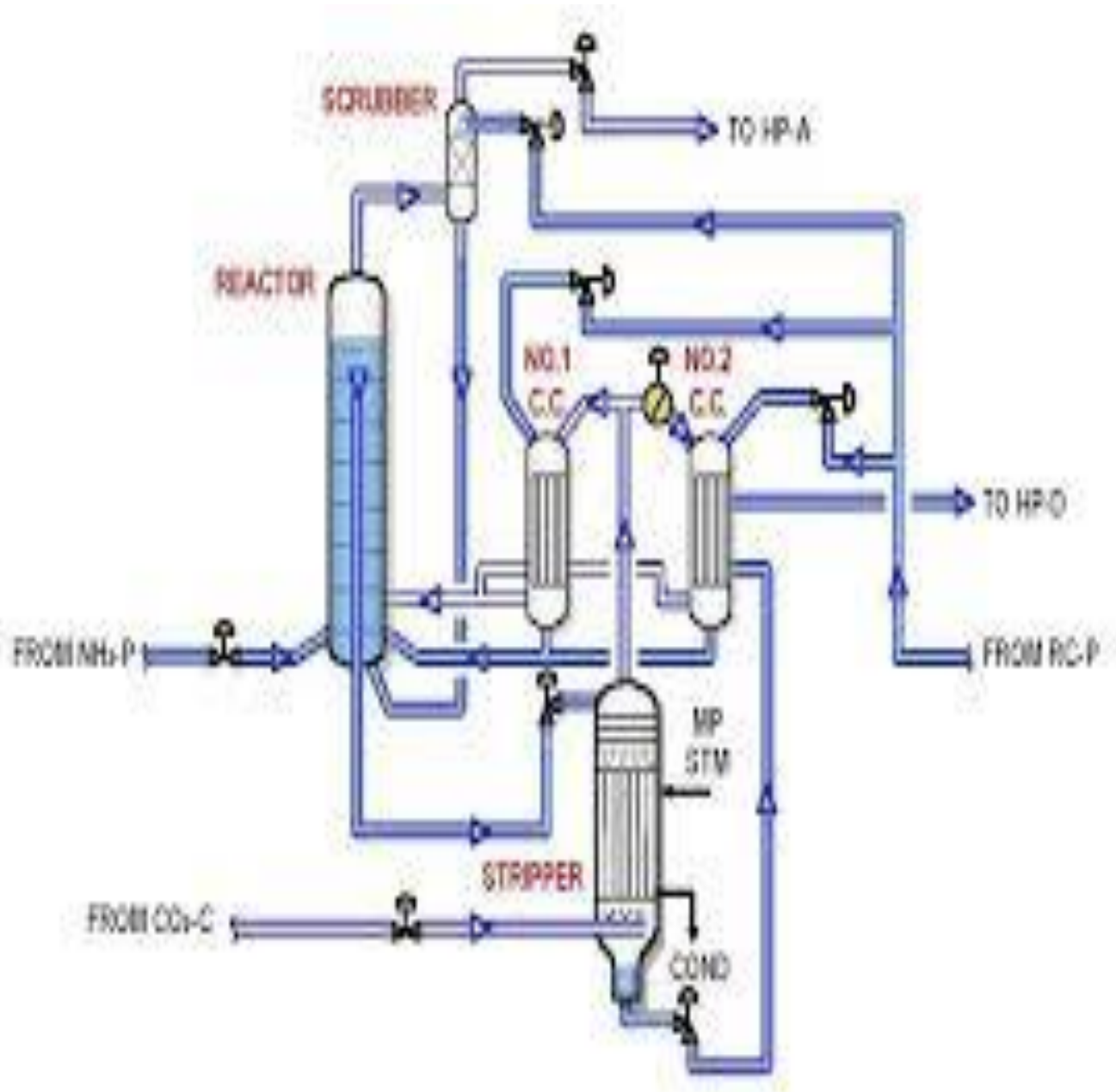


Figure II. 4: Procédé Mitsui-Toatsu-Toyo

II.6.3.1. Procédé conventionnel à recyclage total

Le procédé conventionnel à recyclage total de Mitsui-Toatsu recycle tous les réactifs non convertis après décomposition et séparation.

II.6.3.2. Procédé ACES (advanced process of cost and energy saving)

Le procédé ACES est une version améliorée qui permet des économies d'énergie significatives grâce à une meilleure intégration thermique entre les différentes sections du procédé.

II.6.4. Procédé Montedison/Technimont

Le procédé Montedison/Technimont utilise une technologie propriétaire avec une configuration unique de réacteur et de strippeur.

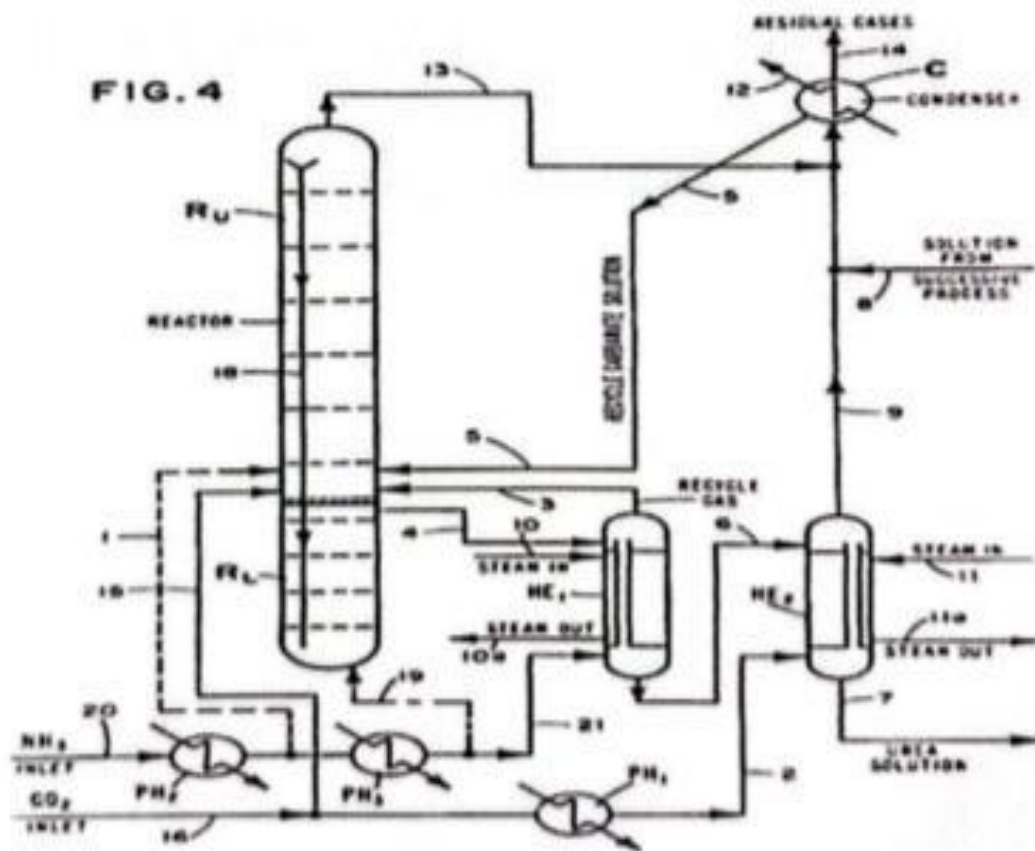
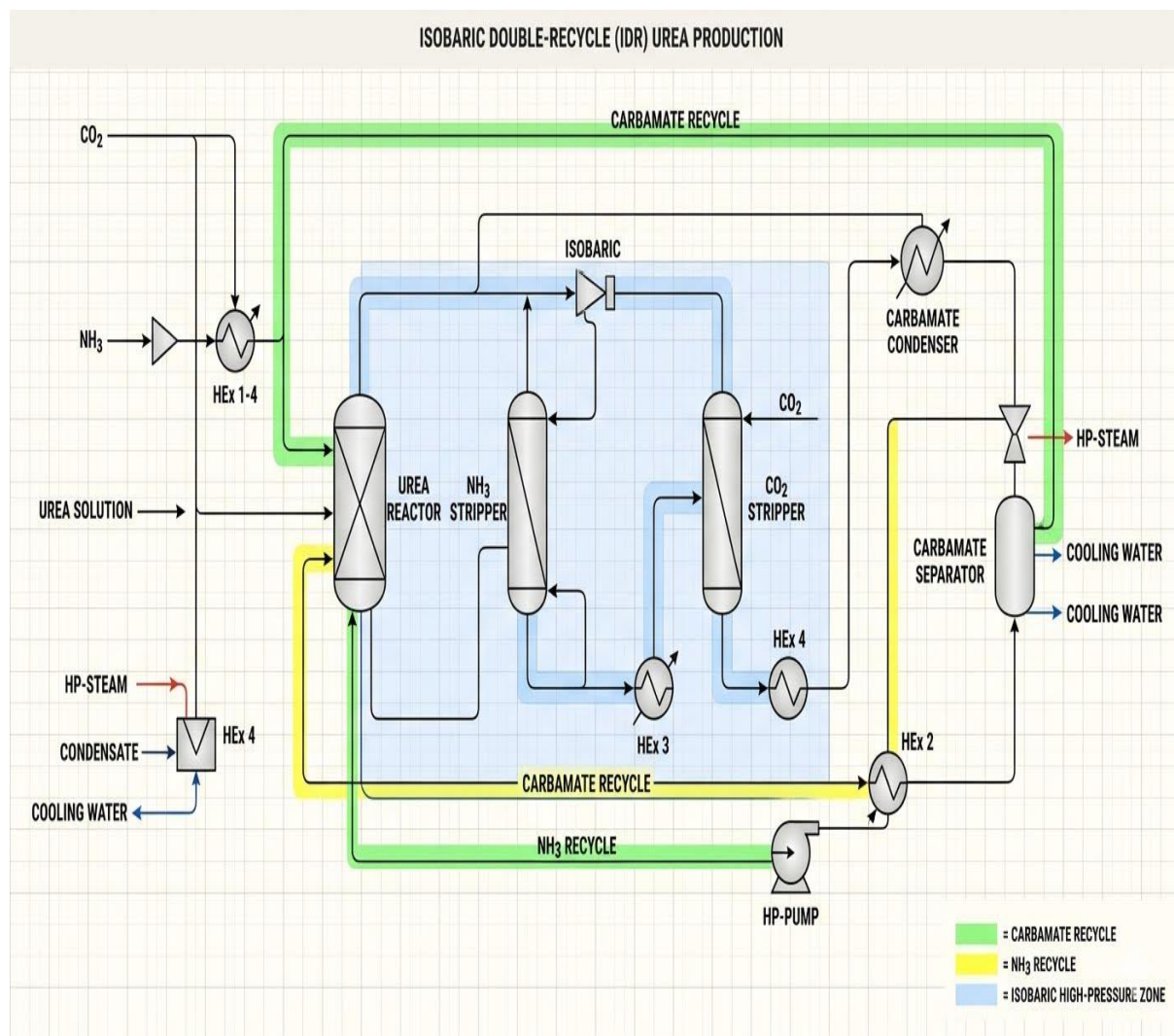


Figure II. 5 :Procédé Montedison/Technimont**II.6.4.1. Procédé conventionnel Montedison**

La version conventionnelle utilise une configuration de recyclage avec des niveaux de pression multiples.

II.6.4.2. Un procédé plus récent appelé IDR (Isobarique double recycle)

Le procédé IDR représente une évolution majeure permettant une conversion plus élevée de l'ammoniac et du CO_2 en urée, réduisant ainsi la consommation d'énergie par tonne d'urée produite.

**Figure II. 5 : procédé IDR (Isobarique double recycle)**

Chapitre III : Description de la section desorbteur et hydrolyseur

III.1. Introduction

L'urée est un important engrais à base d'azote qui est synthétisé par la réaction de l'ammoniac et du dioxyde de carbone dans la plage de températures et de pressions élevées. Dans une usine de production d'urée, pour chaque tonne d'urée produite, 0,3 tonne d'eau est formée. Cette eau qui contient de l'ammoniac, du dioxyde de carbone et de l'urée est généralement rejetée par la section de concentration en urée et d'évaporation de la plante.

Ces eaux usées ainsi que les effluents de rinçage et de lavage sont collectées dans de grands réservoirs de stockage, nécessitent un traitement si elles doivent être réutilisées. Un tel flux contient généralement environ 2 à 9% en poids d'ammoniac, 0,8 à 6% en poids de dioxyde de carbone et 0,3 à 1,5% en poids d'urée.

Le rejet de ces eaux usées des usines d'urée a une influence négative sur l'environnement ainsi que la perte d'urée et d'ammoniac. L'urée est considérée comme délétère dans les cours d'eau naturels car elle favorise la croissance des algues et s'hydrolyse lentement. L'ammoniac est un matériau extrêmement dangereux, toxique et volatil.

Le traitement des eaux usées de l'usine d'urée a pour but d'éliminer l'urée, l'ammoniac et le dioxyde de carbone des condensats du procédé. Plusieurs procédés ont été suggérés pour le traitement de ces flux contenant de l'urée en raison des nécessités actuelles de protection de l'environnement.

Alors qu'au cours de la dernière décennie, 100 ppm d'urée ont été jugés acceptables pour les eaux usées des usines, mais les exigences actuelles exigent principalement une concentration maximale de 10 ppm [15].

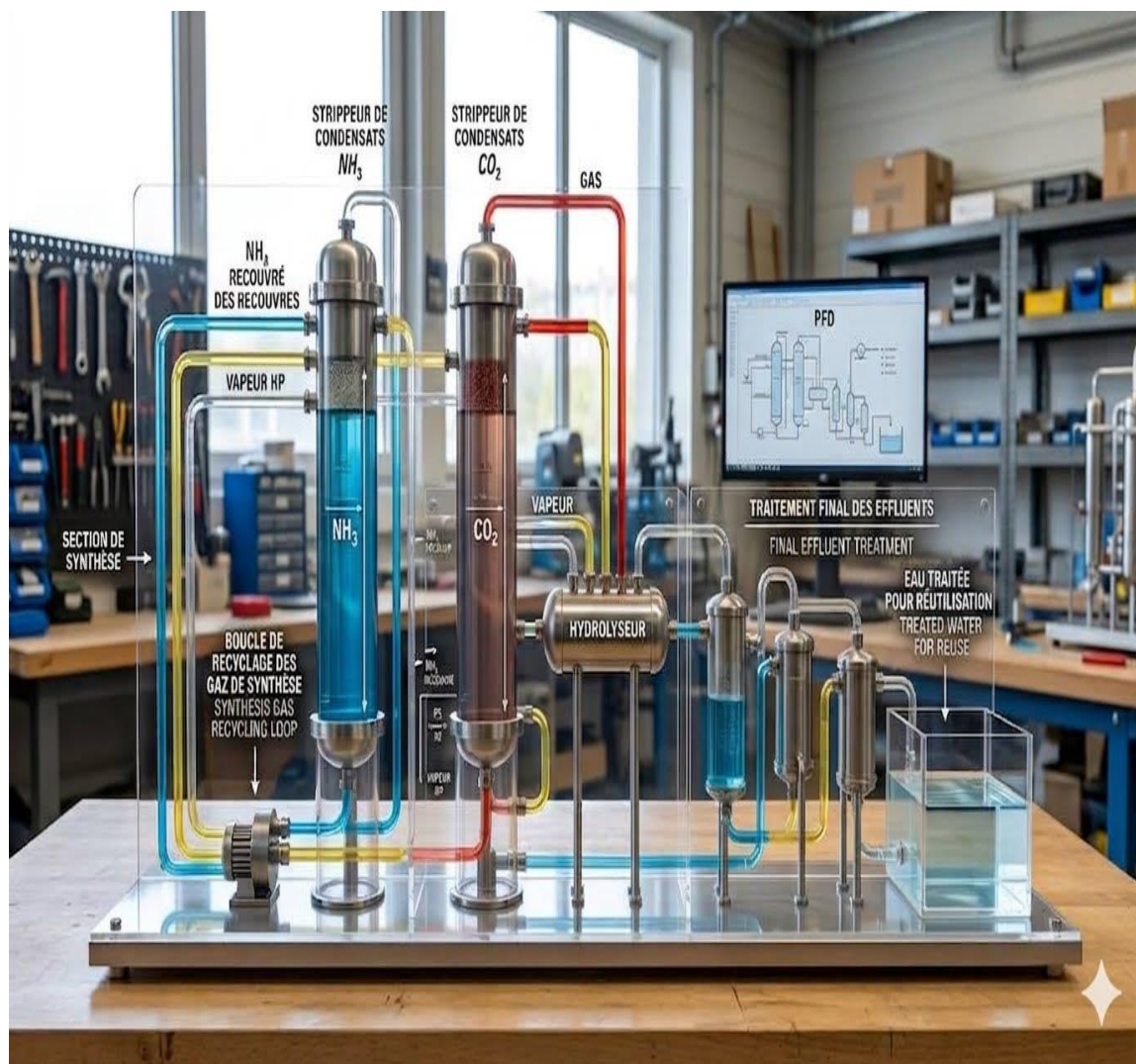


Figure III.1 : Boucle de traitement des eaux usées d'une usine d'urée conventionnelle [15].

III.2. Description du processus

III.2.1. Section de traitement des eaux usées d'une usine d'urée conventionnelle

La section de traitement des eaux usées comprend typiquement les étapes suivantes : désorption des gaz dissous (NH_3 et CO_2), hydrolyse thermique de l'urée résiduelle en ammoniac et CO_2 , et une désorption finale pour éliminer les produits d'hydrolyse.

Le système de traitement comporte un ou deux désorbers et un hydrolyser selon la conception. Les désorbers éliminent d'abord l'ammoniac et le CO_2 dissous par stripping à la vapeur, tandis que l'hydrolyser convertit l'urée résiduelle par réaction avec l'eau à haute température et pression.

III.2.2. Désorption et hydrolyse au niveau de complexe SORFERT

Au niveau du complexe SORFERT, la section de traitement des eaux comprend deux désorbers (028C002 et 028C004) et un hydrolyser (028C003). Ce système permet d'atteindre la spécification de 1 ppm d'urée dans les effluents traités.

Le premier désorbeur 028C002 traite les eaux condensées de procédé pour éliminer la majeure partie de l'ammoniac et du CO₂ dissous. L'hydrolyser 028C003 opère à haute température (210°C) et pression (20 bar) pour convertir l'urée résiduelle. Le deuxième désorbeur 028C004 assure l'élimination finale des composés azotés.

III.3. Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons décrit le système de traitement des eaux usées de l'unité d'urée du complexe SORFERT. Cette section est composée de deux désorbers et d'un hydrolyser qui fonctionnent en série pour éliminer l'urée, l'ammoniac et le CO₂ des eaux condensées du procédé, afin d'atteindre la spécification requise de 1 ppm d'urée en sortie.

Chapitre IV : Simulation des deux colonnes Desorber et Hydrolyser de l'unité d'urée de SORFERT et Résultats et interprétations

IV.1. Introduction

La simulation de procédé est un outil puissant permettant de modéliser le comportement d'un système chimique complexe dans des conditions variées, sans avoir à effectuer des expériences coûteuses. Dans ce chapitre, nous présentons la simulation des équipements de traitement des eaux usées du complexe SORFERT à l'aide du logiciel ASPEN HYSYS V10.

IV.2. Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs

Les simulateurs de procédés sont des outils informatiques qui permettent de résoudre les équations de bilan matière et énergétique pour des systèmes chimiques complexes. Ils intègrent des bases de données thermodynamiques et des corrélations pour les propriétés physiques des composés purs et des mélanges.

Les simulateurs sont utilisés pour la conception de nouveaux procédés, l'optimisation de procédés existants, l'analyse de scénarios, et la formation du personnel d'exploitation.

IV.3. Utilisation de la simulation

Dans le cadre de ce travail, la simulation est utilisée pour :

- Reproduire le cas design des équipements (028C002, 028C003, 028C004)
- Analyser les cas actuels de fonctionnement
- Optimiser les paramètres opératoires
- Estimer les impacts économiques des modifications proposées

IV.4. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS

IV.4.1 Concepts de base du simulateur HYSYS

ASPEN HYSYS est un simulateur de procédés développé par AspenTech, largement utilisé dans l'industrie pétrolière, gazière et chimique. Il permet la simulation en régime permanent et dynamique de procédés complexes.

IV.4.2. Caractéristiques principales de HYSYS

HYSYS se distingue par son interface utilisateur intuitive, sa large base de données de composés chimiques (plus de 1800 composés), et sa bibliothèque étendue de modèles thermodynamiques incluant les équations d'état et les modèles d'activité.

IV.5. Principe d'utilisation de HYSYS

La simulation dans HYSYS suit une approche séquentielle modulaire : chaque opération unitaire est simulée individuellement, et les résultats sont propagés d'un module à l'autre. L'utilisateur définit les composants, sélectionne le modèle thermodynamique, puis construit le schéma de procédé en connectant les opérations unitaires.

IV.6. Modèles thermodynamique de HYSYS

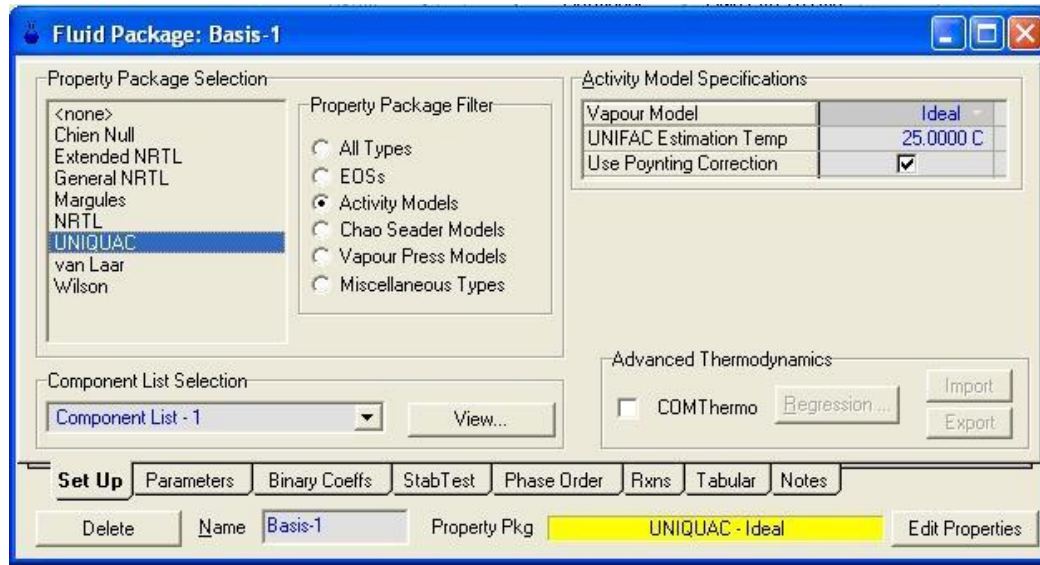
IV.6.1. Choix du modèle thermodynamique

Le choix du modèle thermodynamique est crucial pour la précision de la simulation. Pour les systèmes contenant de l'eau, de l'ammoniac, du CO₂ et de l'urée, les modèles d'activité sont généralement plus appropriés que les équations d'état.

IV.6.2. Modèle UNIQUAC

Le modèle UNIQUAC (Universal QUAsi Chemical) a été sélectionné pour cette simulation. Ce modèle est basé sur la théorie des solutions et permet de représenter avec précision les équilibres liquide-vapeur dans les systèmes contenant des espèces polaires et des électrolytes faibles comme l'ammoniac et le CO₂ dissous dans l'eau.

L'équation UNIQUAC décompose l'énergie de Gibbs en excès en une contribution combinatoire (tenant compte des effets de taille et de forme des molécules) et une contribution résiduelle (tenant compte des interactions entre molécules) [19].

Choix du modèle thermodynamique (UNIQUAC)**Figure IV.1 : Choix du modèle thermodynamique (UNIQUAC)****IV.7. Procédures de simulation par HYSYS**

La procédure de simulation a été réalisée selon les étapes suivantes :

- Sélection des composants : H₂O, NH₃, CO₂, Urée (CO(NH₂)₂)
- Choix du modèle thermodynamique UNIQUAC
- Ajout de la réaction d'hydrolyse de l'urée ($\text{CO(NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$)
- Création de la colonne 1 (premier désorber 028C002)
- Création de la colonne 2 (hydrolyser 028C003)
- Création du réacteur de conversion (hydrolyse)
- Création de la colonne 4 (deuxième désorber 028C004)
- Convergence et validation des résultats

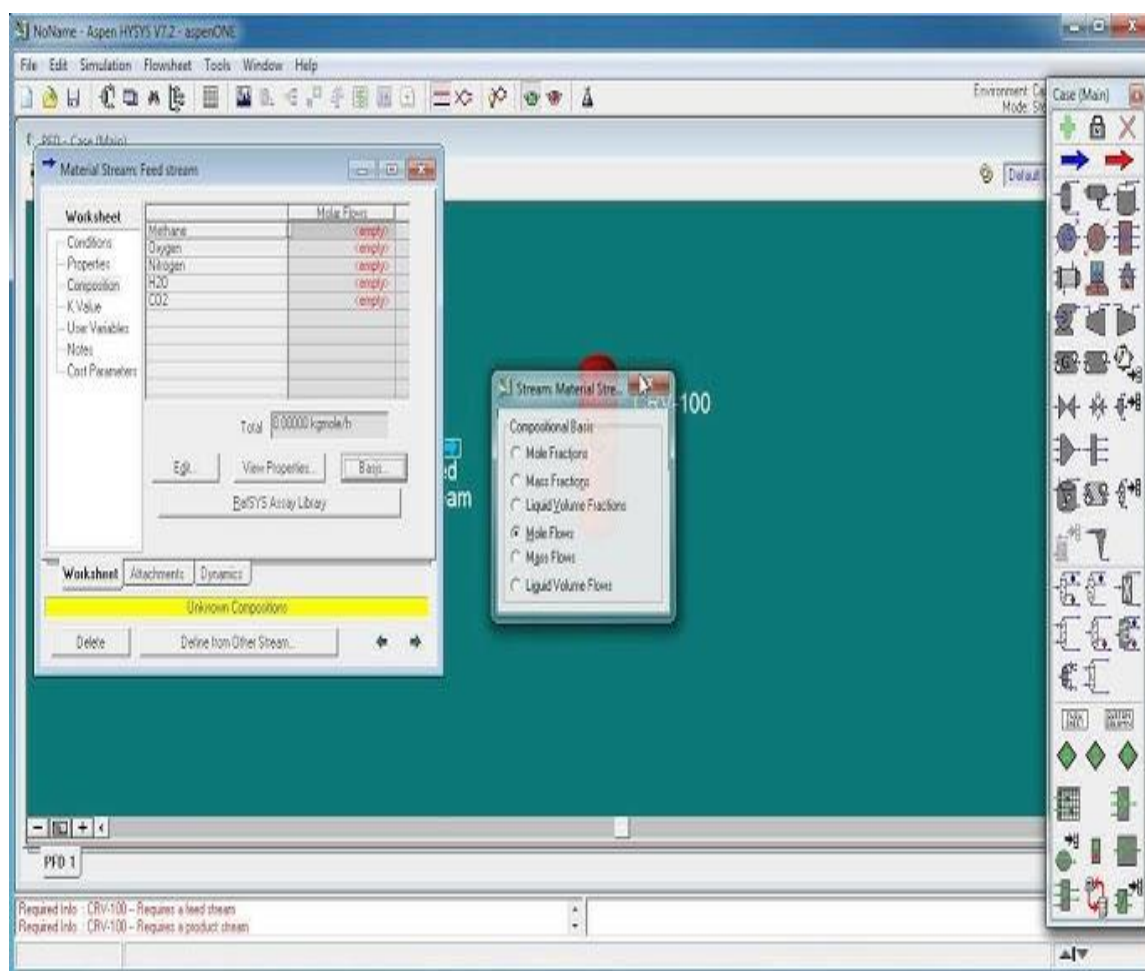


Figure IV.2 : L'interface du logiciel HYSYS

IV.8. Données de la simulation

Tableau IV.1 : Données d'entrée et de sortie du simulateur du premier désorber 028C002 (cas design).

Courant	Paramètres	Design
Alimentation	Température (°C)	131
	Pression (bar)	2,5
Vapeur sortie	T (°C)	131
	%NH3	37
Liquide sortie	T (°C)	131
	%Urée	1,47

Tableau IV 3 : Données d'entrée de sortie du simulateur de l'hydrolyser 28C003 (cas design).

Courant	Paramètres	Design
Vers 2ème désorbeur	Température (°C)	210
	Pression (bar)	20
	Débit massique (kg/h)	66249,40
	Débit molaire	3678,60
	%Urée	0,00
	%CO ₂	109ppm
	%NH ₃	0,64
	%H ₂ O	99,34

IV.9. Discussions des résultats

IV.9.1. Comparaison entre les valeurs du cas design et les valeurs du cas design simulé

Dans cette partie, nous comparons les résultats de la simulation HYSYS avec les valeurs de design réelles des équipements afin de valider notre modèle de simulation.

Tableau IV.9 : Principaux résultats obtenus par simulation comparés aux valeurs design au niveau du premier desorbeur.

Courant	Paramètres	Design	Design simulé	Erreur (%)
Sortie vapeur	Température (°C)	131	131	0
	%NH3	37	36,7	0,81
	%H2O	62,8	63,3	0,80
Sortie liquide	T (°C)	131	131	0
	P (bar)	3	3	0
	%Urée	1,47	1,47	0
	%NH3	0,32	0,35	9,4

Tableau IV.10 : Principaux résultats obtenus par simulation comparés aux valeurs design au niveau de hydrolyseur.

Courant	Paramètres	Design	Design simulé	Erreur (%)
Vers 2ème désorbeur	Température (°C)	210	210	0
	Pression (bar)	20	20	0
	Débit massique (kg/h)	66249,40	65400	1,28
	Débit molaire	3678,60	3631	1,29
	%Urée	0,00	0	0
	%CO ₂	109ppm	0	0

	%NH ₃	0,64	0,2	68,7
	%H ₂ O	99,34	99,8	0,46

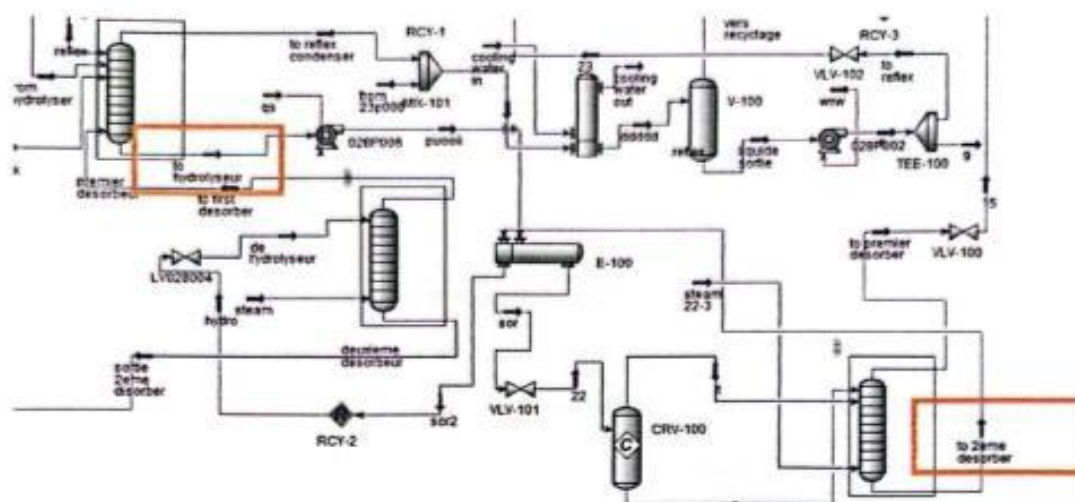


Figure IV.3 : Points de sortie pour la comparaison

IV.9.2. Conclusion

L'examen des tableaux V.1, V.2 et V.3 montre que les valeurs générées par simulation sont très voisines des valeurs design, l'erreur calculée est très souvent inférieure à 10%. Nous pouvons considérer que le modèle thermodynamique choisi (UNIQUAC) a conduit à des résultats satisfaisants et, par conséquent, on peut donc l'utiliser pour la suite de notre travail (cas actuel).

IV.10. Simulation du cas actuel de l'unité de désorbeur et hydrolyser

IV.10.1. Introduction

Cette partie a pour but de simuler le cas actuel de l'unité de l'hydrolyser et désorbeur. Ceci permet d'analyser la quantité d'ammoniac, CO_2 , urée et H_2O dans les sorties actuelles et d'établir des bilans de matière pour apporter les solutions adéquates applicables avec les équipements existants.

Tableau IV.11: Principaux données d'entrée réelles du simulateur pour les trois équipements.

Équipement	Courant	T (°C)	P (bar)	Débit (kg/h)
------------	---------	--------	---------	--------------

1er Désorbeur (028C002)	Alimentation	116	4.5	58200
	Vapeur	145	4,5	12000
Hydrolyseur (028C003)	Alimentation	13	6,5	33 000
	Vapeur	210	20	66230
2ème Désorbeur (028C004)	Alimentation	139	4.5	65 000
	Vapeur	145	4.5	12000

IV.10.2. Interprétation

L'analyse des résultats de simulation du cas actuel révèle plusieurs écarts par rapport au cas design. Ces écarts sont principalement liés aux variations des débits d'alimentation et des conditions opératoires réelles par rapport aux conditions de conception.

IV.11. Etude comparative de débit et la composition à la sorties des trois équipements

Cette section présente une comparaison détaillée entre les compositions aux sorties des équipements pour le cas design et le cas actuel, permettant d'identifier les principales anomalies de fonctionnement.

IV.11.1. Interprétation

L'analyse comparative montre que le premier désorbeur présente un excès d'eau en sortie vapeur, indiquant un entrainement excessif d'eau avec la vapeur. L'hydrolyseur fonctionne avec un débit de vapeur supérieur au design, ce qui représente un gaspillage énergétique significatif.

IV.12. Optimisation des paramètres opératoires

IV.12.1. Introduction

L'objectif de l'optimisation est de trouver les conditions opératoires optimales qui permettent d'atteindre la spécification de 1 ppm d'urée en sortie tout en minimisant la consommation de vapeur.

IV.12.2. Choix du courant à optimiser

Après analyse des résultats, les paramètres d'optimisation retenus sont :

- Le débit molaire de vapeur à l'entrée du 2ème désorbeur
- Le débit molaire de vapeur à l'entrée de l'hydrolyseur

Tableau IV.12 : Limites des paramètres opératoires.

Paramètre	Minimum	Maximum
Débit vapeur 2ème désorber (kmol/h)	45	75
Débit vapeur hydrolyser (kmol/h)	65	100

IV.12.3. Exécution du programme

L'optimisation a été effectuée en utilisant la fonctionnalité Case Study de HYSYS, permettant de faire varier les paramètres opératoires dans leurs plages admissibles et d'observer l'effet sur les variables de sortie cibles.

IV.13. Estimation du cout liée à l'utilisation de vapeur

Tableau IV.13 : Résultat de l'optimisation.

Paramètre	Valeur optimale
Débit vapeur 2ème désorber (kmol/h)	58,5
Débit vapeur hydrolyser (kmol/h)	78,2

%H ₂ O sortie vapeur 1er désorber	0,42
%NH ₃ sortie liquide 1er désorber	< 1 ppm
%Urée sortie hydrolyser	< 1 ppm
Économie vapeur (t/h)	1,2
Gain économique (DA/an)	> 14 millions

Conclusion Générale

Rappelons que l'objectif de cette étude est l'optimisation du traitement des eaux au niveau du désorbeur et l'hydrolyser dans le complexe SORFERT.

Pour aboutir à une solution pratique qui répond à la spécification, il est d'abord nécessaire de connaître les paramètres de fonctionnement de la section désorber et hydrolyser, qui sont obtenus grâce à un suivi minutieux, effectué au sein de l'unité de purification de l'eau.

Après une étude approfondie nous avons pu évaluer le dysfonctionnement de l'hydrolyser et le premier désorbeur, sous une variété de conditions opératoires, tels que :

- Un gaspillage d'eau au niveau de la sortie vapeur de premier désorbeur.
- Une grande quantité de vapeur utilisée à l'entrée de l'hydrolyser par rapport à celle de design avec une différence de 1tonne/h

Afin d'optimiser cette quantité nous avons entrepris une étude par simulation de désorber et hydrolyser de la section, en jouant sur deux paramètres très importants pour le fonctionnement des trois colonnes, le débit de vapeur au niveau de 2ème désorber et l'hydrolyser et la fraction massique d' H_2O et NH_3 .

Pour un meilleur fonctionnement des colonnes, nous recommandons les actions suivantes :

- Il est nécessaire de limiter l'excès d' H_2O à une valeur entre 0,38 et 0,45 dans la sortie vapeur de premier désorber pour assurer un fonctionnement stable sans gaspillage d'eau et éviter le bouchage.
- Il est important que le taux d'ammoniac à l'entrée de l'hydrolyser soit suffisamment faible, afin de ne pas atteindre l'équilibre chimique (éviter la réaction inverse).
- Il est conseillé de diminuer le débit de vapeur entrant afin de minimiser le cout économique.

Enfin, l'incidence financière, de notre étude, s'est traduite par un gain important de vapeur récupérée à l'entrée du désorbeur et l'hydrolyser, donnant lieu à un gain dépassant les quatorze millions de dinars par ans.

Les recommandations proposées en fin du présent mémoire seraient certainement très utiles si elles venaient à être appliquées par les exploitants du complexe.

Références Bibliographiques

- [1] Documents internes de SORFERT.
- [2] HANDBOOOOK of SORFERT.
- [3] Manuel de formation général spécifique, les utilités, document N° :for:UGS/001/2014/FR, 2004.
- [4] Nomenclature of inorganic chemistry iupac recommendations 2005
- [5] Manuel opératoire unité de déminéralisation doc.so.ud.m800.00030 engineering Uhde.
- [6] Manuel de formation, présentation général de complexe, document N° :for :SO/000/2014/fr,2014.
- [7] Manuel opératoire de system de vapeur doc.so-ud-m800.00024 engineering uhde.
- [8] Manuel opératoire du procédé d'ammoniac doc.so-ud-m800.00013 engineering Uhde.
- [9] IDFC/UNIDO (International Fertilizer Development Center /United Nations Industrial Development Organization). Fertilizer manual 3rd edition. Kluwer Academic Publishers, 1979.
- [10] UHDE, SORFERT, Manuel d'utilisation. Code ID doc. SO-UD-M803.00003.
- [11] R.Barbault, Écologie générale : Structure et fonctionnement de la biosphère, Wikipédia, 5e édition, Dunod, p. 32. 07/08/2000
- [12] Manuel opératoire de production d'urée doc.so-ud-m804.00003 engeneering uhde.
- [13] Urea handbook de sorfert.

- [14] P.Baboo, M.Brouwer, J.Eijkenboom et.al. The Comparison of Stamicarbon and Saipem Urea Technology. UreaKnowHow.com, Technical Paper October 2016/02.
- [15] M.A. Isla, H.A. Irazoqui, C.M. Genoud, Simulation of a urea synthesis reactor. part1, Thermodynamic framework, Ind. Eng. Chem. Res. 32 (1993) 2662–2670.
- [16] H. van Baal, The environmental impact of a Stamicarbon 2000 mtd urea plant, in: Proceedings of Eighth Stamicarbon Urea Symposium, Amsterdam, The Netherlands, 1996, pp. 4–7.
- [17] M.Hamidi, N.Mostoufi, R.Sotudeh-Gharebagh. Modeling the synthesis section of an industrial urea plant. Chemical Engineering Journal, 2005.
- [18] Manuels HYSYS V9.0.
- [19] D.S. Abrams and J.M. Prausnitz. Statistical thermodynamics of liquid-mixtures - new expression for excess gibbs energy of partly or completely miscible systems. AIChE journal, 21(1) :116–128, 1975.
- [20] www.tlv.com/steam-unit-cost. 15/05/2026

Annexe

Annexe A : Liste des équipements

Code	Désignation
028C002	Premier désorber
028C003	L'hydrolyser
028C004	Deuxième désorber
028E007	Echangeur de 2ème désorbeur
028E021	Echangeur de l'hydrolyser
028P006A	Pompe d'alimentation de l'hydrolyser
028P003A	Pompe d'alimentation de désorbeur
028P002A	Pompe de reflux
028E004	Reflux condenseur
028D001	Start up cooler

