



Faculty of Sciences and Technology

Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت/2024

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Spécialité : **GÉNIE DES PROCÉDÉS DES MATÉRIAUX**

### THÈME

**Etude par simulation de l'influence des paramètres thermodynamiques  
sur la production de l'urée au niveau de SORFERT**

**Présenté par**

- 1- Hamadouche Ahlem
- 2- Medjaheur Yamina

Soutenu le 26 /06 / 2024 devant le jury composé de :

<b>Présidente :</b>	Boubegra Naima	MCA	Université de Mostaganem
<b>Examinatrice :</b>	Attouti Salima	MCA	Université de Mostaganem
<b>Rapporteur :</b>	Chouaih Abdelkader	Pr	Université de Mostaganem

# Remerciement :

**On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage  
d'achever ce travail**

**On remercie le complexe Sorfert de nous accueillir et pour l'expérience et les intérêts qu'il  
nous a fait.**

**On tient é remercié toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui ont  
aidés lors de la rédaction de cette mémoire.**

**Nous exprimons aussi nos vifs remerciement note encadrent Pr Choyah Abdelakder au  
membre du jury Mm Atouti Salima et Mm Boubgra Naima, pour l'intérêt qu'ils ont porté à  
notre travail acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leur remarque et suggestion Enfin,  
nous remercions tous personne qui de près et de loin a contribué a la réalisation de notre  
travaille**

## **Dédicace**

**Avant tout chose je remercie dieu qui m'a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail, que je dédie en signe de respect remerciement et reconnaissance**

**Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour**

### **A mes chers parents**

Ceux qui m'ont donné la vie et qui n'ont jamais cessé à croire en moi et à m'encourager dans tout ce que j'entreprends

Que dieu le tout puissant vous préserver de tous mal et vous accord la santé et le bonheur

### **A mes chers frères et mon marie**

Rachid Mohamed et Bou Abdellah qui ont toujours étaient là pour moi

### **A mes meilleurs amis**

Amina Maissa imene ghada zouzou

### **À mon binôme**

Ahlem nous avons pour couru ce long chemin ensemble je te remercie pour ton écoute et ton encouragement et ton esprit d'équipe

**.Medjaheur Yamina**

## **Dédicaces**

**Au nom d'Allah...!**

**Je remercie Dieu tout Puissant de m'avoir donné la faculté d'assimiler, le courage et la**

**Patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie à:**

**A ma chère mère**

**Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.**

**À mes frères Abdenour Madjid et mes chères sœurs houria et Chaimaâ, Sans oublier**

**mes petits neveux et nièces.**

**A mes chères ami Mohammed et Abdenour qui nous trop aidez et supporter le long de**

**notre stage pratique.**

**A mes chers amies Katya amina ghada nadjat maissa Hanane pour leurs aides et**

**supports dans les moments difficiles, sans oublier**

**mon binôme Amina pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au**

**long de ce**

**projet.**

**A tous ceux que aime et ceux. Qui m'aiment.**

**Hamadouche ahlem**

## ملخص

يتعلق هذا العمل بدراسة تأثير بعض المتغيرات الترموديناميكية على عملية إنتاج اليوريا في مجمع سورفيرت الصناعي. ويعد هذا المجمع أحد أكبر الشركات المتكاملة لإنتاج الأسمدة النيتروجينية في شمال أفريقيا. ويضم قطارين لإنتاج الأمونيا وقطارًا واحدًا لإنتاج اليوريا. تم تنفيذ تحسين العملية باستخدام برنامج Aspen Plus Hysys من خلال تقييم الانحرافات بين المعلمات المحسوبة وبيانات تصميم الوحدة. يتم تصنيع اليوريا من خلال عملية ستاميكربون وهي عملية إعادة التدوير الكلية الأكثر استخدامًا في العالم. يتضمن ذلك تجريد النفايات السائلة من المفاعل عند ضغط مرتفع باستخدام ثاني أكسيد الكربون الوارد. تتضمن هذه العملية تفاعل ثاني أكسيد الكربون والأمونيا تحت ضغط مرتفع ودرجات حرارة مرتفعة نسبيًا. بعد ذلك، تم إجراء دراسة أداء عملية تصنيع اليوريا من خلال تحليل حساسية المعلمات مثل نسبة N/C ودرجة الحرارة. لقد ثبت أن هاتين المعلمتين تؤثران على معدلات تحويل ثاني أكسيد الكربون والأمونيا وكفاءة العملية.

## Résumé

Le présent travail porte sur l'étude de l'influence de quelques paramètres thermodynamiques sur le procédé de production d'urée au niveau du complexe industriel SORFERT. Ce complexe est l'un des plus importants producteurs intégrés d'engrais d'azotés en Afrique du nord. Il comprend deux trains de production d'ammoniac et un train de production d'urée. L'optimisation du procédé a été réalisée à l'aide du logiciel Aspen Plus Hysys en évaluant les déviations entre les paramètres calculés et les données de design de l'unité. La synthèse de l'urée est réalisée par le procédé stamicarbon qui est un procédé à recyclage total le plus utilisé dans le monde. Il s'agit de réaliser le stripage à haute pression de l'effluent du réacteur par le CO<sub>2</sub> entrant. Ce procédé consiste à faire réagir le dioxyde de carbone et l'ammoniac sous haute pression et à des températures relativement élevées. Par la suite, l'étude de performance de procédé de synthèse de a été faite par analyse de sensibilité des paramètres tels que le rapport N/C et la température. Il a été montré que ces deux paramètres influent sur les taux de conversion de CO<sub>2</sub> et d'ammoniac et sur l'efficacité de stripper.

MOT CLES : thermodynamiques ; Aspen Plus Hysys ; stamicarbon ; dioxyde de carbone ; l'urée

## Abstract

The present work focuses on the study of the influence of some thermodynamic parameters on the urea production process at the SORFERT industrial complex. This complex is one of the largest integrated producers of nitrogen fertilizers in North Africa. It includes two ammonia production trains and one urea production train. The process optimization was carried out using the Aspen Plus Hysys software by evaluating the deviations between the calculated parameters and the unit design data. The synthesis of urea is carried out by the stamicarbon process which is a total recycling process most used in the world. It involves high-pressure stripping of the reactor effluent by the incoming CO<sub>2</sub>. This process consists of reacting carbon dioxide and ammonia under high pressure and at relatively high temperatures. Subsequently, the performance study of the urea synthesis process was carried out by sensitivity analysis of parameters such as the N/C ratio and temperature. These two parameters have been shown to influence CO<sub>2</sub> and ammonia conversion rates and stripper efficiency.

Key word: Aspen Plus Hysys ; stamicarbon ; carbone dioxyde ; urea

<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>Figure I.1</b> : Situation géographique du complexe SORFERT. ....	<b>4</b>
<b>Figure I.2</b> : les zones principales du complexe SORFERT.....	<b>5</b>
<b>Figure I.3</b> : Schéma de principe de production de l'ammoniac à partir du gaz naturel.....	<b>6</b>
<b>Figure I.4</b> : Schéma général de production de l'urée. ....	<b>8</b>
<b>Figure I.5</b> : Vue d'ensemble du complexe des fertilisants de SORFERT.....	<b>10</b>
<b>Figure II.1</b> : chimiste allemand Friedrich Wöhle.....	<b>12</b>
<b>Figure II.2</b> : l'urée solide.....	<b>13</b>
<b>Figure II.3</b> : Structure de molécule de l'urée.....	<b>13</b>
<b>Figure II.4</b> : Le taux de conversion en fonction de la température .....	<b>23</b>
<b>Figure II.5</b> : Taux de conversion en fonction de la pression.....	<b>23</b>
<b>Figure II.6</b> : Concentration en équilibre de l'urée en fonction du rapport N/C et H/C.....	<b>24</b>
<b>Figure III.1</b> : photo réel pool condenser.....	<b>29</b>
<b>Figure III.2</b> : schéma représentatif des données de design de « pool condenseur.....	<b>30</b>
<b>Figure III.3</b> : photo réel de réacteur.....	<b>31</b>
<b>Figure III.4</b> : schéma représentatif des données de design de réacteur .....	<b>32</b>
<b>Figure III.5</b> : photo réel de stripper .....	<b>33</b>
<b>Figure III.6</b> : schéma représentatif des données de design de stripper.....	<b>34</b>
<b>Figure III.7</b> : photo réel de scrubber .....	<b>35</b>
<b>Figure III.8</b> : schéma représentatif des données de design de scrubber.....	<b>36</b>
<b>Figure III.9</b> : synthèse avec pool condenser.....	<b>39</b>
<b>Figure III.10</b> : schéma de recirculation et évaporation. ....	<b>40</b>
<b>Figure III.11</b> : Schéma de granulation. ....	<b>42</b>
<b>Figure III.12</b> : schéma de désorption et hydrolyse .....	<b>44</b>
<b>Figure III.13</b> : Schéma de synthèse.....	<b>44</b>
<b>Figure III.14</b> Karl Fisher.....	<b>45</b>
<b>Figure III.15</b> cruching test.....	<b>46</b>
<b>Figure III.16</b> : détermination de l'urée.....	<b>49</b>
<b>Figure III.17</b> : détermination de formaldéhyde dans l'urée. ....	<b>50</b>
<b>Figure IV.1</b> : schéma de la simulation de la boucle de synthèse de l'urée.....	<b>56</b>
<b>Figure IV.2</b> : Taux de conversion en fonction de température.....	<b>60</b>
<b>Figure IV.3</b> : Schéma de modélisation et simulation.....	<b>60</b>
<b>Figure IV.4</b> : Schéma de modélisation et simulation du réacteur.....	<b>61</b>

<b>Figure IV.5</b> : Evolution du débit molaire de l'urée et de carbamate en fonction de la pression.....	<b>62</b>
<b>Figure IV.6</b> : Schéma de modélisation et simulation de stripper.....	<b>63</b>
<b>Figure IV.7</b> : Evolution du débit molaire de l'urée en fonction de la température dans le Stripper.....	64
<b>Figure IV.8</b> : Schéma de simulation HP condenser.....	65
<b>Figure IV.9</b> : Evolution du débit molaire de l'urée et de carbamate en fonction de la pression dans le Pool-Condenser.....	66
<b>Figure IV.10</b> : Evolution du débit molaire de l'urée en fonction de la température dans le pool condenseur.....	67
<b>Figure IV.11</b> : Schéma de modélisation du scrubber.....	68

<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>Tableau I.1</b> : Fiche technique du complexe SORFERT.....	4
<b>Tableau II.1</b> :Caractéristiques physiques et chimiques de l'urée.....	12
<b>Tableau III.1</b> : Paramètres de dimensionnement du condenseur.....	29
<b>Tableau III.2</b> : Paramètres de dimensionnement du réacteur.....	30
<b>Tableau III.3</b> : Paramètres de dimensionnement du stripper.....	33
<b>Tableau III.4</b> : Paramètres de dimensionnement du scrubber .....	35
<b>Tableau III.5</b> : calcul de la dureté moyenne.....	47
<b>Tableau IV.1</b> : composants modélisés dans la simulation.....	56
<b>Tableau IV.2</b> : les équipements nécessaires.....	57
<b>Tableau IV.3</b> : Résultats de simulation du réacteur.....	61
<b>Tableau IV.4</b> : Résultats de simulation du stripper.....	63
<b>Tableau IV.5</b> : Résultats de simulation du HP Condenser. ....	65
<b>Tableau IV.6</b> : Résultats de simulation du scrubber.....	68



## *Nomenclature des courants*

022-01	Courant du gaz CO <sub>2</sub> entrant
022-07	Courant liquide sortant du stripper
022-010	Courant des gaz recyclé sortant de stripper
022-011	Courant liquide de carbamate recyclé
022-012	Courant d'ammoniac liquide entrant
022-014	Courant de mélange d'alimentation du pool condenser
022-015	Courant de mélange d'alimentation du réacteur
022-017	Courant liquide sortant du réacteur
022-018	Courant des gaz sortant du réacteur
022-020	Courant des gaz sortant du scrubber

## TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Présentation générale du complexe « SORFERT »</b>	<b>3</b>
Introduction	4
Situation géographique du complexe	5
Différentes unités du complexe SORFERT	5
Unité de production de l'ammoniac (NH <sub>3</sub> )	6
Unité de production d'urée	7
Utilités	8
Stockage et chargement	9
Conclusion	10
<b>Chapitre II : Généralité sur la production de l'urée</b>	<b>11</b>
Introduction	12
Historique de l'urée	12
définition de l'urée	13
Propriétés physiques	14
Propriétés chimiques	14
Type de l'urée	15
Utilisation de l'urée	15
Utilisation industriel	16
Utilisation en laboratoire	18
Utilisation en textile	18
Synthèse de l'urée	20
Paramètres influençant sur la synthèse d'urée	22
Production d'urée à l'échelle nationale	24
Production d'urée à l'échelle internationale	25
Conclusion	25
<b>Chapitre III description de l'unité de production d'urée</b>	<b>28</b>
Introduction	28
Les équipements nécessaires	29
Description de procédé	37
Les analyses effectuées sur l'urée	45
Conclusion	51
<b>Chapitre IV : La simulation de procédé Stamicarbon</b>	<b>52</b>
Introduction	53
Définition de la simulation	53
Objectif de la simulation	54
Présentation du simulateur Aspen plus	55
Principe de fonctionnement	55
Description du processus	57
Propriétés physiques	58
Propriétés SR-POLAR	58
Control de la charge et rendement d'unité	59
Modélisation et Simulation de la section de synthèse de SORFERT	60
Modélisation du réacteur de l'urée	61
Modélisation du stripper	63
Modélisation du Pool Condenser	65
Modélisation du scrubber	68
<b>Conclusion générale</b>	<b>70</b>

<b>Références bibliographiques</b>	71
<b>Annexe</b>	73

## Introduction générale

L'urée produit sous forme granulé qui facilite l'écoulement libre dans l'agriculture doit répondre à certaines exigences commerciales, c'est un engrais azoté concentré qui contient 46% d'azote, de plus il est le moins cher des engrais azotés et le plus facile à transporter, ce qui le rend disponible dans les pays en voie de développement.

L'urée a une large gamme d'applications où une pureté restreinte est nécessaire pour chaque application. Elle est utilisée généralement comme un engrais organique pour améliorer la qualité du sol, pour la production des amines et les produits pharmaceutiques, comme un matériau d'alimentation des matières plastiques, des peintures, des produits cosmétiques, en médecine et aussi en tant que réducteur dans les réductions catalytiques et non catalytiques de combustion de NOX dans les véhicules.

Vue 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 de l'urée engrais en utilisant le procédé allemand Thyssen Krupp UHDE.

En raison de son importance mondiale, il existe plusieurs procédés de fabrication de l'urée tels que les procédés non recyclables, partiellement recyclables et totalement recyclables. Le procédé Stamicarbon est le plus utilisé parmi tous ces procédés. Le procédé Stamicarbon est le plus utilisé parmi tous ces procédés, il comprend un réacteur à plateaux de synthèse d'urée, un condensateur de carbamate à haute pression, un échangeur de chaleur à haute pression qui sert comme stripper [1, 2].

Le procédé stamicarbon de la synthèse de l'urée est composé des équipements intensifiés qui effectuent plusieurs fonctions. Les modèles de ces équipements ne sont pas fournis dans la bibliothèque des modèles standards des simulateurs de procédés tel que Aspen Plus ce qui nécessite le développement de leurs modèles. Bien que la technologie de production de l'urée soit mature et déjà bien développée, il existe peu d'études sur la modélisation et la simulation de ce procédé.

Parmi les différentes zones du complexe, on distingue la zone de production qui se compose de 02 unités de production de l'ammoniac et une unité de production d'urée 20/ de la production de l'ammoniac est envoyée vers l'expédition et 80 / est utilisés en tant que matière première avec le dioxyde de carbone pour fabriquer l'urée granulé

Notre mémoire de fin d'étude a été réalisé au niveau de l'unité d'urée Sorfert à Arzew (Oran). L'objectif principal de notre travail consiste à étudier l'influence de la température et de la pression sur la synthèse de l'urée par simulation de l'unité de synthèse de l'urée du complexe Sorfert.

Le manuscrit se divise en quatre chapitres, en plus de l'introduction et la conclusion générale :

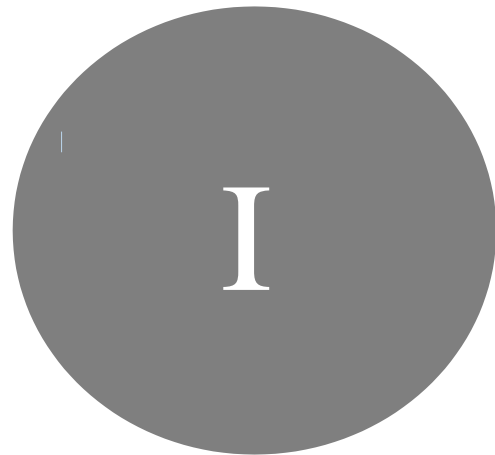
Chapitre 01 : Présentation générale du complexe Sorfert

Chapitre 02 : Généralité Sur La Production De L'urée

Chapitre 03 : Description de l'unité de production d'urée

Chapitre 04 : La simulation du procédé Stamicarbon

**Chapitre**



**Présentation générale  
du complexe SORFERT**

## I.1. Historique et généralité sur le complexe :

le complexe SORFERT a été créé le 19 mars 2007 pour rappel la conception, le développement et la construction clés en main du complexe ont été confiés au groupe allemand UHDE qui a décroché le contrat de 120 milliards de dinars (environ 1,28 milliard d'euro) la compagnie allemande UHDE est leader dans son domaine en matière de technologie servant à la production de fertilisant

Ce complexe est alimenté par le gaz naturel deux milliards de mètre cubes par an, il serait le plus important dans toutes l'Afrique et le Moyen-Orient pratiquement, il se classe à la troisième position parmi les producteurs mondiaux d'engrais azoté. [3]

## I.2. Description du complexe :

Le complexe Sorfert (SONATRACH ORASCOM FERTIISANT) est un site industriel pétrochimique pour la production d'ammoniac et urée situé dans la zone industriel d'Arzew à 40 km à l'est d'Oran. Cette usine l'un des complexes les plus important réalisation industriel de la chaine de traitement des hydrocarbures, l'usine est donc le cadre du partenariat entre l'entreprise algérienne SONATRACH 49 % et l'entreprise égyptienne ORASCOM construction industries 51% établie le 10 juin 2007 utilisant l'engineering de société allemande Thyssen Krupp UHDE, occupant une superficie de 37 hectares.

Il est conçu pour sécuriser le transport, sous forme d'engrais liquide à base d'ammoniac et d'urée

Le complexe SORFERT comprend principalement :

- Deux trains d'ammoniaque liquide produisant chacun 2200 t/jour.
- Une unité d'urée pour une production de 3450 t/jour
- Une zone d'utilités assurant les besoins en électricité, en eau, en air et en azote
- Une installation de pompage d'eau de mer
- Une zone de stockage constitué [3]

Tableau 01 : fiche technique du complexe SORFERT [3]

Paramètre	Valeur
Superficie	37 hectares
Partenaires	Orascom 51 Sonatrach 49
Date de construction	Février 2007
Date de démarrage	Décembre 2011
Alimentation en gaz naturel	RTO
Procédé	Thyssen Krupp Uhde
Nombre de train	02
Capacité de stockage	-75.000 m3 d'ammoniac liquide -un hangar de stockage d'urée de 100000m3

## I.3 Situation géographique du complexe :

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



Figure I.1 : situation géographique. [3]



## *I.4 Matières premières et produits finis :*

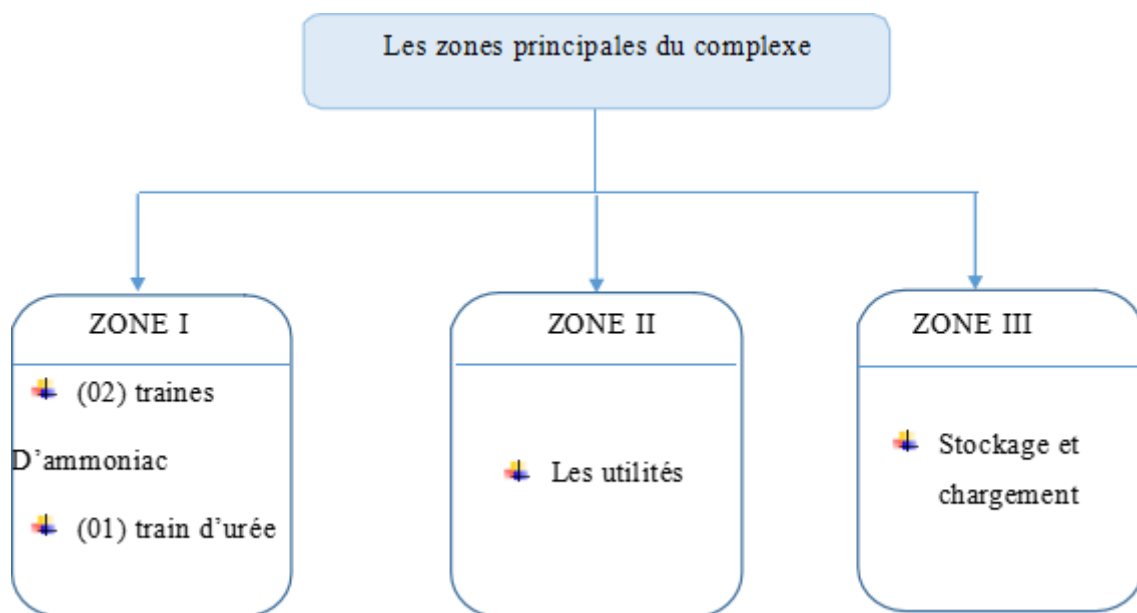
### **I.4.1 Les matières premières nécessaires au Complexe :**

- L'Oxygène et L'Azote (Nitrogène) de l'Air Atmosphérique ;
- Le Dioxyde de Carbone ( $\text{CO}_2$ ) de l'unité d'extraction du  $\text{CO}_2$  ;
- La vapeur d'eau générée par la récupération de chaleur et produite par les chaudières autonomes ;
- Le Gaz Naturel ;

### **I.4.2 Les produits finis du Complexe sont :**

- L'Ammoniac liquide ( $\text{NH}_3$ ) stocké à l'état liquide.
- L'urée granulé ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) granule stocké. [3]

## *I.5 Les principales zones du complexe :*



**Figure I.2 :** Les zones principales du complexe SORFERT. [3]

## I.5.1 Zone process de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) :

L'usine SORFERT a deux trains chacun de production 2200 t/j d'ammoniaque, la production est basée sur le gaz naturel pour obtenir l'hydrogène et l'azote à partir de l'air qui sont les composants principaux, exigés pour la synthèse d'ammoniaque selon la réaction suivante :

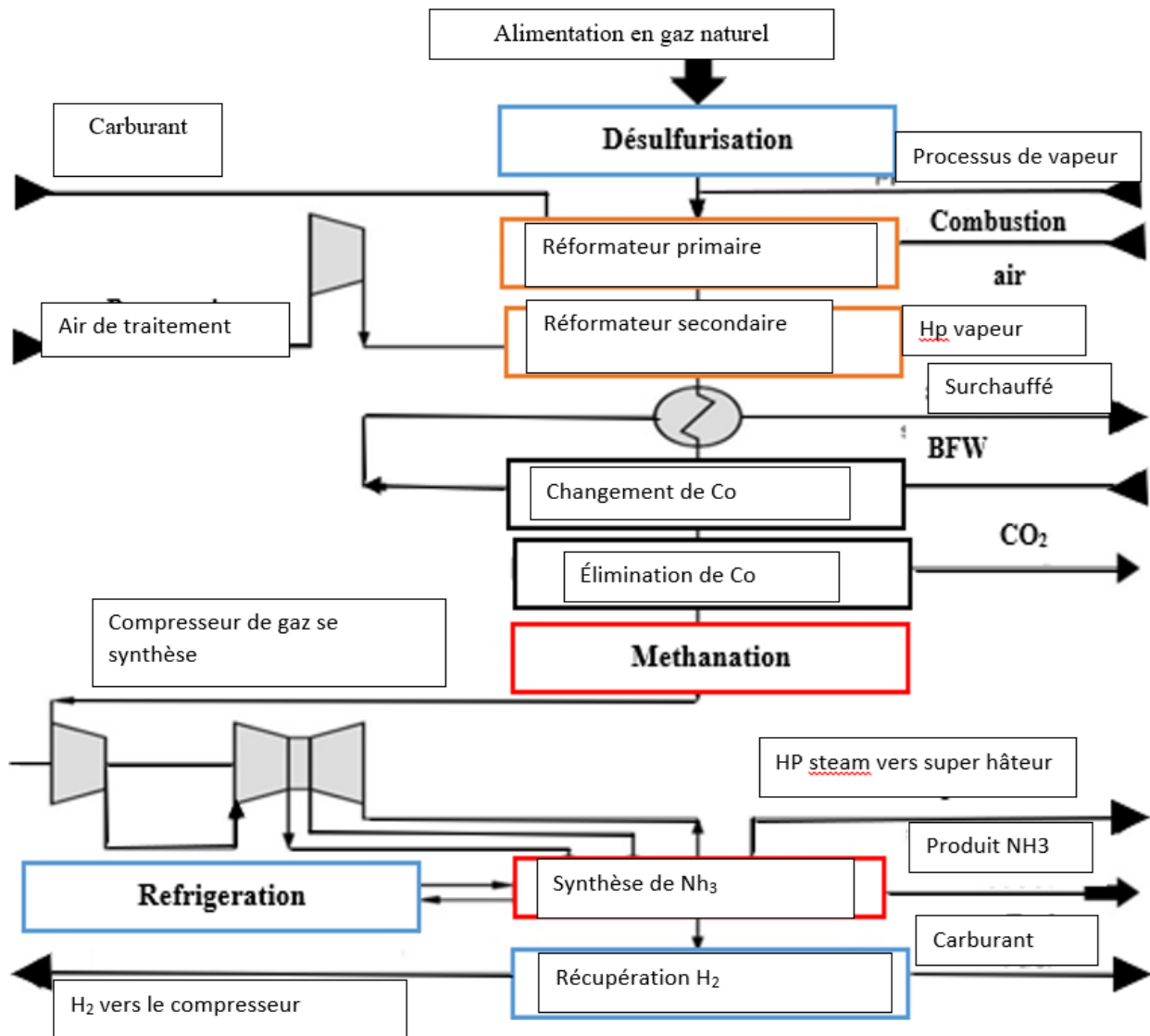


Étant donné que le gaz naturel algérien contient l'hélium et le mercure, on a ajouté des unités additionnelles pour les extraire.

L'hélium aurait eu comme conséquence la production non économique d'ammoniaque et le mercure à un effet très corrosif et sa présence affecterait le matériel de la construction.

La zone procès d'ammoniac se compose des unités suivantes :

- Unité d'extraction de l'Hélium et du Mercure du Gaz Naturel.
- Unité de désulfurisation/ Compression du Gaz Naturel.
- Unité de compression d'Air du Procédé.
- Unité de reformage à la vapeur et Craquage (Vapo-Reformage).
- Unité de conversion du CO.
- Unité d'extraction du CO<sub>2</sub>.
- unité de méthanisation.
- Unité de compression du Gaz de Synthèse.
- unité de synthèse de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). [4]



**Figure I.3:** Schéma de principe de production de l'ammoniac à partir du gaz naturel. [4]

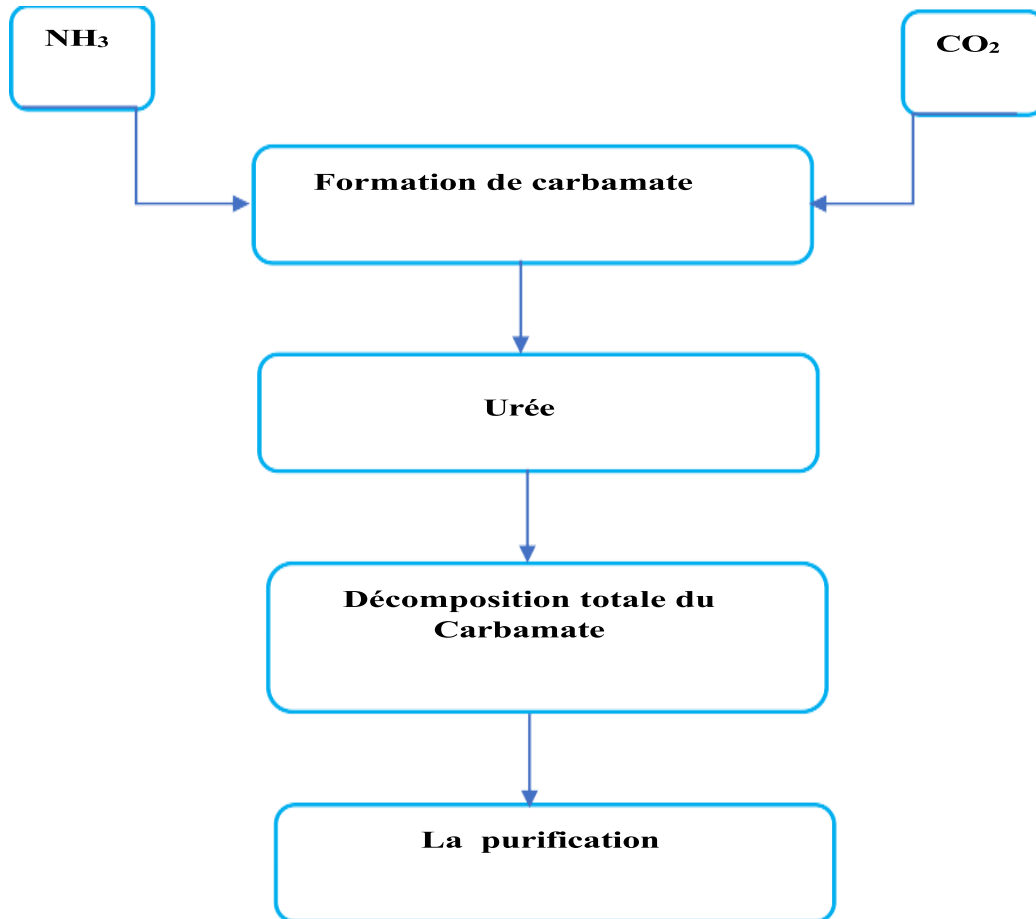
## 1.5.2 Zone procès de l'urée :

Les réactifs (NH<sub>3</sub> et CO<sub>2</sub>), purifiés pour éliminer l'oxyde de carbone (CO) et l'humidité, sont comprimés séparément, puis introduits dans le réacteur, la formation du carbamate y est très rapide, le réacteur fonctionne adiabatement et on doit exercer un contrôle sévère de la température à cause de la corrosion importante par les solutions de carbamate d'ammoniacque au-dessus de 200°C

La zone procès d'urée se compose des unités suivantes :

- Compression du CO<sub>2</sub>.
- Pompe d'Ammoniac.
- Synthèse d'urée.
- Recirculation.

- Évaporation.
- Granulation.
- Section de traitement des condensats [4]



**Figure I.4 :** Schéma général de production de l'urée. [4]

### ***1.5.3 Zone utilités :***

Les utilités sont des services indispensables pour soutenir le fonctionnement du procédé dans un complexe industriel. Elles jouent un rôle crucial dans la production et la manipulation des produits finis. De plus, elles fournissent un support essentiel pour l'ensemble de l'outil de production.

Les utilités se composent des unités suivantes :

- Les chaudières autonomes
- La production d'énergie électrique
- système d'azote
- circuit de refroidissement à l'eau de mer
- Circuit de refroidissement en boucle fermée

- Unité de dessalement
- Unité de déminéralisation
- Réseau d'eau anti-incendie
- Prise d'eau de mer [5]

**I.5.4 Zone de stockage :** La zone de stockage et chargement est un élément crucial de l'infrastructure du complexe industriel. Elle est divisée en deux unités principales :

**I.5.4.1 Stockage sur site :** Cette unité comprend un réservoir d'ammoniac liquide d'une capacité de 15 000 m<sup>3</sup> et un hangar d'engrais pouvant stocker jusqu'à 100 000 m<sup>3</sup>. [6]

**I.5.4.2 Stockage au port :** Cette partie de l'installation est située au port et se compose de deux réservoirs d'ammoniac liquide, chacun ayant une capacité de 30 000 m<sup>3</sup>, ainsi que d'une station de pompage d'ammoniac liquide capable de traiter jusqu'à 1000 m<sup>3</sup> par heure.

Ces installations de stockage garantissent une capacité adéquate pour entreposer les produits finis en toute sécurité avant leur expédition. [6]

### **I.6 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.

## **Conclusion**

La production d'ammoniac et de l'urée constitue une opération continue qui comporte un grand nombre d'unités de fabrication intimement liées. L'industrie pétrochimique en général est désignée comme source de pollution dont les effets peuvent être considérablement réduits ou atténués par la mise en application de solutions techniques.



**Figure I.5 :** Vue d'ensemble du complexe des fertilisants de SORFERT

### **Conclusion :**

Le complexe «SORFERT» est conçu pour produire de l'ammoniac et de l'urée, avec une capacité de production quotidienne de 3450 tonnes d'urée et 4400 tonnes d'ammoniac. Les procédés utilisés dans ce complexe sont efficaces et la qualité des produits obtenus respecte les normes internationales

**Chapitre**

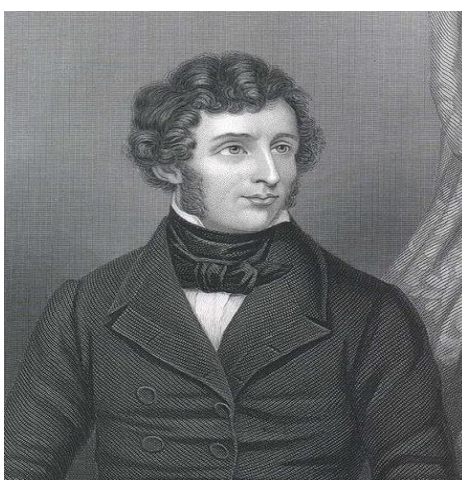


**Généralités sur la  
production de l'urée**

### II .1Introduction

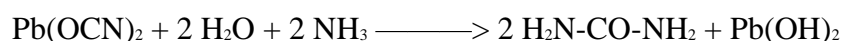
### II.2 Historique du l'urée :

L'urée est un composé organique de formule chimique  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  a été découverte dans l'urine humaine par le pharmacien H.M. ROULLE en Formée dans le foie lors du cycle de l'urée, à partir de l'ammoniac (cf. Ammoniac) qui provient de la dégradation de trois acides aminés (arginine, citrulline et ornithine), l'urée naturelle est éliminée au niveau des reins par l'urine.



**Figure II.1** : Le chimiste allemand Friedrich Wöhler[8]

En 1828, après avoir maîtrisé la synthèse de l'acide cyanique, le jeune chimiste allemand Friedrich Wöhler (il a 28 ans et vient d'être nommé professeur à l'École professionnelle de Berlin) réussit à obtenir de l'urée, une molécule « organique », terme qui, à l'époque, définissait une molécule produite par le monde vivant. En faisant réagir le cyanate de plomb avec l'ammoniac en présence d'eau, composés minéraux, il obtient le cyanate d'ammonium qui se réarrange en ce composé devenu mythique et écrit triomphalement à Jöns Jacob Berzelius qu'il n'est pas nécessaire d'avoir des reins d'homme ou de chien pour l'obtenir :



Depuis la synthèse de Wöhler, l'urée est devenue un composé industriel de gros tonnage : la production mondiale approche les 130 Mt/an. L'urée est fabriquée industriellement selon le procédé Bosch-Meiser à partir d'ammoniac et de dioxyde de carbone puisque la synthèse de l'ammoniac nécessite de l'hydrogène dont la production par reformage du méthane puis purification s'accompagne de la formation de dioxyde de carbone.





Figure II.2 : l'urée solide[8]

### II.3 Définition de l'urée :

L'urée est un composé organique connu sous la dénomination commune international (DCI) **carbamide**, sa formule chimique peut être écrite comme  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{CON}_2\text{H}_4$  ou bien  $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$

L'urée aide à évacuer l'azote résiduel du corps. Historiquement, l'urée est un composé chimique important car elle a été le premier produit chimique organique présent naturellement dans le corps humain à être synthétisée à l'aide de produits chimique inorganique dans un laboratoire de Friedrich Wöhler. En raison de cette réussite, certain le considèrent comme le père de la chimie organique.

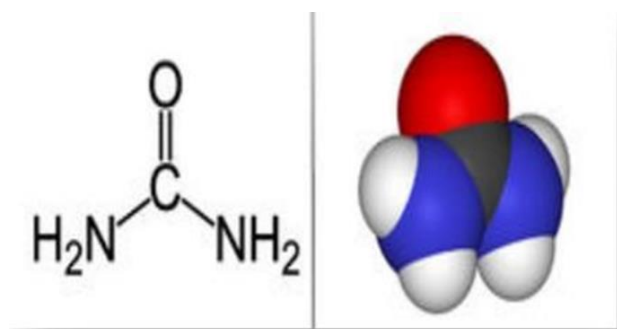


Figure II .3: Structure de molécule de l'urée[9]

### II.4 Propriétés de l'urée :

#### II .4 .1 Les propriétés physiques de l'urée :

La première étape de la fabrication de l'urée est la production d'ammoniac, qui se fait selon le procédé Haber.

\*L'urée est un solide cristallin incolore de formule moléculaire  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$

\*c'est un molécule très polaire, soluble dans l'eau, avec une solubilité d'environ 70 % en poids à 20°C

\*la solubilité de l'urée dans l'eau augmente avec la température est diminuer avec l'augmentation de la pression

\*l'urée a un poids moléculaire d'environ 60 g/mol et un point de fusion d'environ 105°C

\*l'urée est également très réactive a certain produit chimique, tels que les acides est bases forts .il doit donc être stocke dans un endroit frais est sec pour minimiser les risques de dégradation.

\*l'urée peut être utilisé pour fabriquer de nitrate d'urée un explosif puissants utiliser industriellement est comme élément de certains engins explosifs improvisés

Est un matériau hautement hygroscopique qui absorbe l'humidité de l'air et peut former des grumeaux s'il n'est pas stocké correctement

#### II.4.2 propriétés chimique de l'urée :

Formule chimique	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$
La masse moléculaire	60,05 g/mol
Température de la fusion	132,7 à 135 °C
La densité	1335 kg/m
L'enthalpie de dissolution dans l'eau	243 j/g(endothermique)
Masse volumique	1,6 g/mL <sup>2</sup>
La chaleur spécifique 20°C, cal/ G°C	0.32
L'humidité relative critique	
20°C	81 %
30°C	73%
La teneur maximal en azote	46.6
La masse volumique apparente	740 kg/m <sup>3</sup>
La couleur	BLANCHE

Tableau II.1 : Caractéristiques physiques et chimiques de l'urée[11]

### II.5 Les différents types d'urée :

L'urée peut être produite à titre de granulée, flacons, cristaux et solution. La plus importante utilisation (95 %) se fait sous la forme d'engrais azotés. L'urée, qui contient 46 % d'azote, ne pourrait être utilisée comme engrais en raison de son caractère hygroscopique élevé. C'est sa formulation en granulés qui assure la régularité de son épandage. Sur le plan agronomique, c'est une formulation intéressante, car sa minéralisation est progressive, induite par la présence dans le sol de bactéries (par exemple *Nitrosomonas*) possédant l'urée, se enzyme catalysant la réaction inverse de la synthèse de l'urée.

### II.6 L'utilisation :

#### II.6.1 Utilisation agricole

Plus de 90% de la production mondiale est destinée à être utilisée comme engrais. L'urée est utilisée comme engrais libérant de l'azote, car elle hydrolyse de nouveau en ammoniac et en dioxyde de carbone, mais son impureté la plus courante, le biuret, doit être présente à moins de 2%, car elle entrave la croissance des plantes. L'urée a la teneur en azote la plus élevée de tous les engrais azotés solides d'usage courant (46,4% N.). Elle présente donc les coûts de transport les plus bas par unité de nutriment azoté. Au cours de la dernière décennie, l'urée a dépassé et a presque remplacé le nitrate d'ammonium en tant qu'engrais.

Dans le sol, l'urée est convertie en azote ammoniacal. Pour la plupart des flores, la forme ammoniacale de l'azote est aussi efficace que la forme nitrate. La forme ammonium est mieux retenue dans le sol par les matières argileuses que la forme nitrate et est donc moins sujette à la lixiviation. L'urée est hautement soluble dans l'eau et est donc également très appropriée pour une utilisation dans des solutions d'engrais, par ex. dans les engrais pour « aliments foliaires ».

Dans le commerce, l'urée d'engrais peut être achetée sous forme de granulés. Dans le passé, il était généralement produit en laissant tomber l'urée liquide d'une "tour de prilling" tout en séchant le produit. Les granulés forment une substance plus petite et plus molle que les autres matériaux couramment utilisés dans les mélanges d'engrais. Aujourd'hui, cependant, une quantité considérable d'urée est fabriquée sous forme de granulés. Les granulés sont plus gros, plus durs et plus résistants à l'humidité. En conséquence, l'urée granulée est devenue un matériau plus approprié pour les mélanges d'engrais.

### *II.6.1.1 Avantages de l'urée d'engrais*

- L'urée peut être appliquée sur le sol sous forme de solide ou de solution ou sur certaines cultures en pulvérisation foliaire.
- L'utilisation de l'urée implique peu ou pas de risque d'incendie ou d'explosion.
- La haute analyse de l'urée, 46% de N, permet de réduire les coûts de manutention, de stockage et de transport par rapport aux autres formes sèches de N.
- La fabrication d'urée libère peu de polluants dans l'environnement.
- Une fois correctement appliquée, l'urée entraîne une augmentation du rendement des cultures égale à celle des autres formes d'azote.

L'azote de l'urée peut être rejeté dans l'atmosphère, l'engrais reste à la surface du sol pendant de longues périodes par temps chaud. La clé de l'utilisation la plus efficace de l'urée consiste à l'incorporer au sol lors d'une opération de labour. Il peut également être mélangé au sol avec de l'eau d'irrigation. Une précipitation aussi faible que 0,25 pouce est suffisante pour incorporer de l'urée dans le sol à une profondeur où aucune perte d'ammoniac ne se produira.

La décomposition de l'urée commence dès son application au sol. Si le sol est totalement sec, aucune réaction ne se produit. Mais avec l'urée, ainsi que toute petite quantité d'humidité dans le sol, l'urée s'hydrolyse normalement et se transforme en ammonium et en dioxyde de carbone. Cela peut se produire en 2 à 4 jours et se produit plus rapidement dans les sols à pH élevé. À moins qu'il ne pleuve, il faut incorporer de l'urée pendant ce temps pour éviter les pertes d'ammoniac. Les pertes peuvent être assez faibles si la température du sol est froide.

### *II.6.2 Utilisation industrielle :*

- Un stabilisant dans les explosifs à la nitrocellulose.
  - Un réactif dans les réactions de réduction des émissions de NO<sub>x</sub> et de SNCR dans les gaz d'échappement provenant de la combustion, provenant par exemple de centrales électriques et de moteurs diesel.
  - Un composant d'engrais et d'aliments pour animaux fournissant une source d'azote relativement bon marché, favoriser la croissance
  - une matière première pour la fabrication de plastiques, à savoir une résine urée-formaldéhyde
  - Une matière première pour la fabrication de colles diverses (urée-formaldéhyde ou urée-mélatamine-formaldéhyde) ; ce dernier est imperméable et utilisé pour le contreplaqué marin

## Chapitre II : Généralités sur la production de l'urée

- Une alternative au sel gemme pour le déglacage des chaussées et des pistes ; il ne favorise pas la corrosion des métaux autant que le sel : Un additif dans la cigarette, conçu pour rehausser la saveur.
- Un agent de brunissage dans les bretzels fabriqués en usine.
- Un ingrédient de certains revitalisants, nettoyants pour le visage, huiles de bain et lotions.
- A réactif dans des compresses froides prêtes à l'emploi pour les premiers secours, en raison de la réaction endothermique qu'il crée lorsqu'il est mélangé avec de l'eau.
- Un agent d'ensemencement des nuages, avec des sels, pour accélérer la condensation de l'eau dans les nuages, produisant des précipitations ingrédient utilisé dans le passé pour séparer les paraffines, en raison de la capacité de l'urée à former des clathrates (également appelés complexes hôte-invité, composés d'inclusion et adduits).
- Un agent ignifuge (couramment utilisé dans les extincteurs à poudre chimique comme l'urée-potassium) bicarbonate).
- Un ingrédient de nombreux produits de blanchiment des dents.
- Une crème pour adoucir la peau, en particulier les craquelures au fond des pieds.
- Un ingrédient contenu dans du savon à vaisselle.
- Pour fabriquer du cyanate de potassium.
- Un agent fondu utilisé pour recouvrir à nouveau les half-pipes de snowboard et les éléments de parc de terrain.
- Une matière première pour la production de mélamine Plus de 95% de toute la production de mélamine est basé sur l'urée. La société mère de Stamicarbon, DSM, est le plus grand producteur de mélamine au monde.
- Une source de protéines de substitution supplémentaire dans les aliments pour bétail et autres ruminants. En raison de l'activité des micro-organismes dans leur processus de raffinage, les ruminants sont capables de métaboliser certains composés contenant de l'azote, y compris l'urée, en tant que substituts de protéines. Aux États-Unis, cette capacité est exploitée à grande échelle. En revanche, l'Europe occidentale utilise peu d'urée dans l'alimentation du bétail.
- Alimentation pour hydrolyse en ammoniac, qui est à son tour utilisé pour réduire les émissions des centrales électriques et des moteurs à combustion.
- Autres produits divers tels que du matériel de déglacage pour les pistes d'aéroport. Bien qu'à une plus petite échelle qu'en tant qu'engrais ou en tant que matière première pour les résines synthétiques, l'urée est également utilisée en tant que matière première ou auxiliaire dans l'industrie pharmaceutique, les industries de la fermentation et du remottage et l'industrie pétrolière.

### *II.6.3 Utilisation en laboratoire*

L'urée est un puissant dénaturant des protéines. Cette propriété peut être exploitée pour augmenter la solubilité de certaines protéines. Pour cette application, il est utilisé à des concentrations allant jusqu'à 10 M. L'urée est utilisée pour rompre efficacement les liaisons non covalentes dans les protéines. L'urée est un ingrédient de la synthèse du nitrate d'urée. Le nitrate d'urée est également un explosif très semblable au nitrate d'ammonium, mais il pourrait même être plus puissant en raison de sa complexité.

### *II.6.4 Usage médical :*

#### *II.6.4.1 L'usage de drogues :*

L'urée est utilisée dans les produits dermatologiques topiques pour favoriser la réhydratation de la peau. Si elles sont couvertes d'un pansement occlusif, des préparations à 40% d'urée peuvent également être utilisées pour le débridement non chirurgical des ongles. Ce médicament est également utilisé comme aide à l'élimination du cérumen. Comme la solution saline, l'injection d'urée sert à effectuer des avortements. C'est également le composant principal d'un traitement médicamenteux alternatif appelé traitement urinaire.

#### *II.6.4.2 Utilisation diagnostique*

Le test respiratoire à l'urée utilise l'urée isotopiquement marquée (carbone 14 - radioactif ou carbone 13 - stable) pour détecter la présence de la bactérie *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) dans l'estomac et le duodénum de humains. Le test détecte l'enzyme caractéristique, l'uréase, produite par *H. pylori*, par une réaction produisant de l'ammoniac à partir d'urée. Cela augmente le pH (réduit l'acidité) de l'environnement de l'estomac autour de la bactérie. Similaire Les espèces de bactéries appartenant à *H. pylori* peuvent être identifiées par le même test chez des animaux tels que les grands singes, les chiens et les chats.

### *II.6.5 Utilisation textile*

L'urée est une matière première pour la production de résines urée-formaldéhyde dans les industries des adhésifs et du textile. Une partie importante de la production d'urée est utilisée dans la préparation de résines d'urée-formaldéhyde. Ces résines synthétiques sont utilisées dans la fabrication d'adhésifs, de poudres à mouler, de vernis et de mousses. Ils sont également utilisés pour l'imprégnation du papier, des textiles et du cuir. Dans les laboratoires de textile, ils sont fréquemment utilisés à la fois en teinture et en impression comme auxiliaire important,

ce qui confère une solubilité au bain et retient l'humidité nécessaire au processus de teinture ou d'impression.

### ***II.7 Matière premier pour la production d'urée :***

La production d'urée implique l'utilisation de diverses matières premières essentielles à la synthèse de cet important engrais azoté. C'est matières premiers jouent un rôle crucial dans l'efficacité est la qualité global de processus de production d'urée. Dans cette section, nous explorerons les principales matières premières utilisées dans la production d'urée. [13]

#### **II.7.1 l'Ammoniac :**

L'ammoniac est la principale matière première utiliser dans la production d'urée il sert de source d'azote pour la synthèse de l'urée. L'ammoniac est produit par le procédés Haber-Bosch qui implique la réaction d'azote et d'hydrogène gazeux sous haute pression et température en présence d'un catalyseur. L'ammoniac utilisé dans le processus de production d'urée

#### **II.7.2 Dioxyde de carbone :**

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) est une autre matière première essentiel utilisés dans le procédé de production de l'urée sert de source de carbone pour la synthèse de l'urée. Le dioxyde de carbone utilisé dans le processus est généralement obtenu a partir de diverses sources telles que les gaz de combustion des centrales électrique, le traitement du gaz naturelle ou d'autre processus industriels

Le dioxyde de carbone est purifié et comprimé avant d'être introduit dans le réacteur de synthèse d'urée .la pureté du dioxyde de carbone est cruciale pour empêcher toute impureté d'affecter la réaction et la qualité du produit final à base d'urée.

#### **II.7.3 L'eau de traitement :**

L'eau est une matière première essentielle dans le processus de production d'urée Stamicarbon. Il est utilisé à différentes étapes du processus de production, notamment la réaction de synthèse, la purification et granulation. L'urée utilisée dans le processus doit répondre des normes de qualité spécifique pour garantir la condition de réaction souhaitées et la qualité de la production finale à base d'urée

L'eau de traitement est généralement déminéralisée et traitée pour éliminer les impureté telles que

les sels dissous, les matière organique et les matières en suspension. la qualité de l'eau de traitement est étroitement surveillée pour éviter tout effet indésirable sur la cinétique de réaction l'efficacité globale du processus de production d'urée.

### II.7.4 Autre additifs :

L'autre matière première primaire mentionné ici -dessus, le processus de production d'urée Stamicarbon peut également impliquer l'utilisation de divers additifs pour améliorer les performances et la qualité du produit à base d'urée. Ces additifs peuvent inclure des agents anti agglomérant, des colorants et des matériaux de revêtement.

La sélection et l'utilisation de ces additifs sont soigneusement contrôlées pour garantir leur compatibilité avec le procédé de production d'urée et leur conformité aux normes réglementaires. Ces additifs peuvent améliorer les caractéristiques de manipulation, la stabilité au stockage et l'apparence des granulés d'urée. [13]

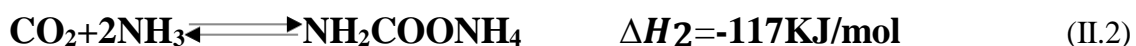
### II.8 Synthèse de l'urée :

La production d'urée implique une série de réactions chimiques qui transforment la matière première en urée, un composé riche en azote largement utilisé en agriculture comme engrais. les principales réaction dans le processus de production d'urée sont la synthèse du carbamate d'ammonium et sa décomposition ultérieure pour former de l'urée.

Ces réactions se déroulent dans un environnement à haute pression et haute température, généralement dans un réacteur de synthèse d'urée

#### II.8.1 la formation de carbamate d'ammonium :

La première étape de production d'urée est la synthèse du carbamate d'ammonium, formé par la réaction entre l'ammoniac et le dioxyde de carbone .cette réaction est exothermique et se produit en présence d'un catalyseur, généralement un oxyde métallique tel que le fer ou le cuivre .la réaction globale peut être représentée comme suit :



Dans cette réaction, deux molécules d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) réagissent avec une molécule de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) pour former une molécule de carbamate d'ammonium (NH<sub>2</sub>COONH<sub>4</sub>). la réaction est réversible peut être déplacé vers la formation de carbamate d'ammonium en éliminant l'eau produit comme sous-produit.



### II.8.2 décomposition du carbamate d'ammonium :

La deuxième étape de la production d'urée est la décomposition du carbamate d'ammonium pour former de l'urée. Cette réaction est également endothermique et se produit à une température plus élevée que la réaction de synthèse. La décomposition du carbamate d'ammonium peut être représentée par l'équation suivante :



Dans cette réaction, une molécule de carbamate d'ammonium se décompose pour former une molécule d'urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) et une molécule d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). La réaction est réversible et l'équilibre peut être déplacé vers la formation d'urée en éliminant l'eau produite comme sous-produit.

### II.8.3 Réactions secondaires :

Au cours du processus de production d'urée, plusieurs réactions secondaires peuvent se produire, conduisant à la formation de sous-produits indésirables. Ces réactions secondaires peuvent réduire l'efficacité globale du processus et affecter la qualité du produit final. Certaines des réactions secondaires courantes comprennent

#### II.8.3.1 Formation biuret :

Le biuret est un composé toxique formé par la condensation de deux molécules d'urée. Elle est considérée comme une impureté dans la production d'urée car elle peut avoir des effets négatifs sur les performances de l'urée en tant qu'engrais. Pour minimiser la formation du biuret, la réaction et les catalyseurs sont soigneusement contrôlés.



#### II.8.3.2 Décomposition de l'urée :

L'urée peut se décomposer à des températures élevées, entraînant la formation de l'ammoniac et de l'acide cyanurique.

Cette réaction de décomposition n'est pas souhaitable car elle réduit la concentration et la pureté de l'urée. Pour éviter la décomposition de l'urée, la température de réaction est soigneusement contrôlée.

### II.8.3.3 Hydrolyse de l'urée :

L'urée peut s'hydrolyser en présence d'eau, formant de l'ammoniac et du dioxyde de carbone.

Cette réaction n'est pas souhaitable car elle réduit la concentration et la pureté de l'urée, le système réactionnel est conçu pour minimiser le contact entre le mélange réactionnel et l'eau :



### II.8.4 Catalyseur dans la production l'urée

Les catalyseurs jouent un rôle crucial dans la production d'urée car ils augmentent les vitesses des réactions et améliorent la sélectivité vers les produits souhaités. Les catalyseurs utilisés dans la production d'urée sont généralement des oxydes métalliques tels que l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ou l'oxyde de cuivre ( $\text{CuO}$ ) ces catalyseurs favorisent la synthèse du carbamate d'ammonium pour former de l'urée.

Le choix de catalyseur dépend de facteurs tels que les conditions de réactions, la qualité souhaitée du produit et stabilité du catalyseur. [14]

## ***II.9 Paramètres influençant sur la synthèse d'urée :***

### ***II.9.1 Température :***

La température de procédé 185 °C favorise le rendement d'équilibre à une pression donnée de 180 atm. La conversion du carbamate d'ammonium en urée augmente progressivement comme la température augmente (figure II.2).

Cependant, après une certaine température, en fonction de la pression, la conversion chute brutalement avec l'augmentation supplémentaire de la température. [6]

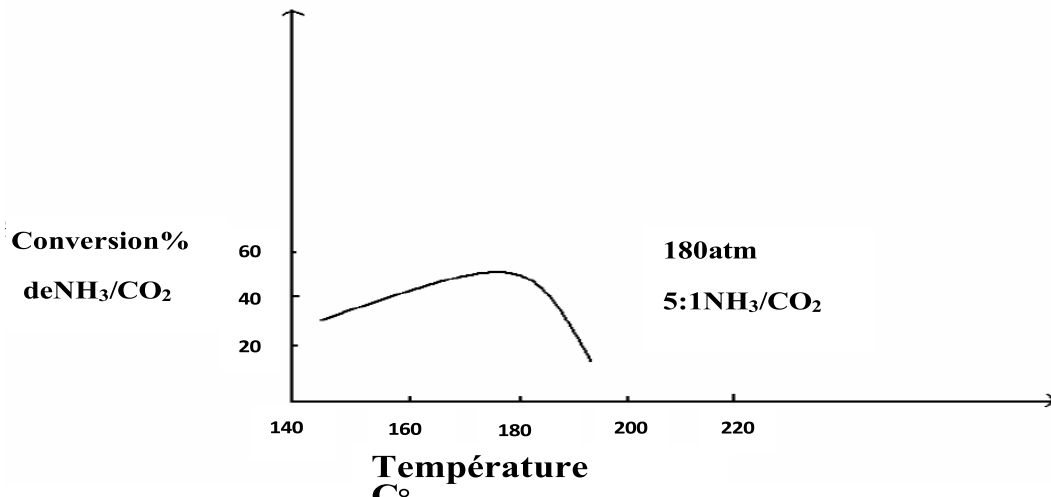


Figure II.4: Le taux de conversion en fonction de la température. [6]

### II.9.2 Pression :

La réaction principale est suffisamment lente à la pression atmosphérique. Toutefois, elle commence presque instantanément à une pression de l'ordre de 100 atmosphères et une température de 150 °C. Une pression élevée favorise la réaction directe, cette pression est choisie en fonction de la température à maintenir et le rapport NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>.

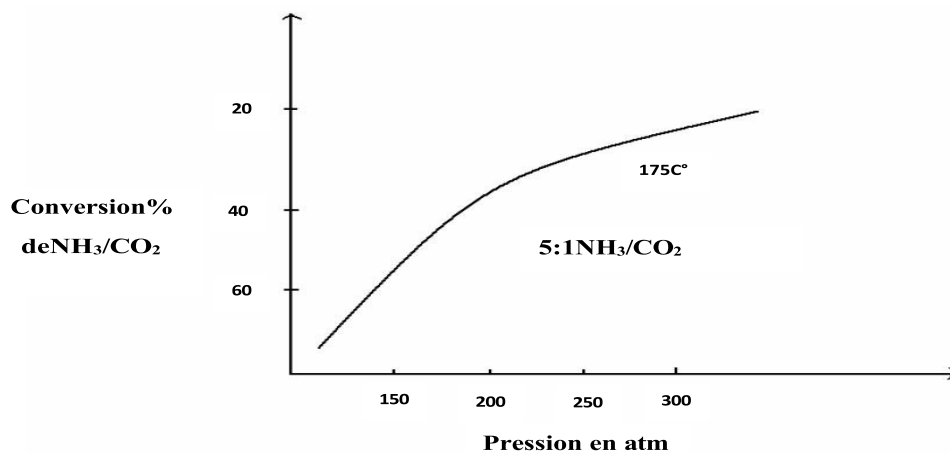
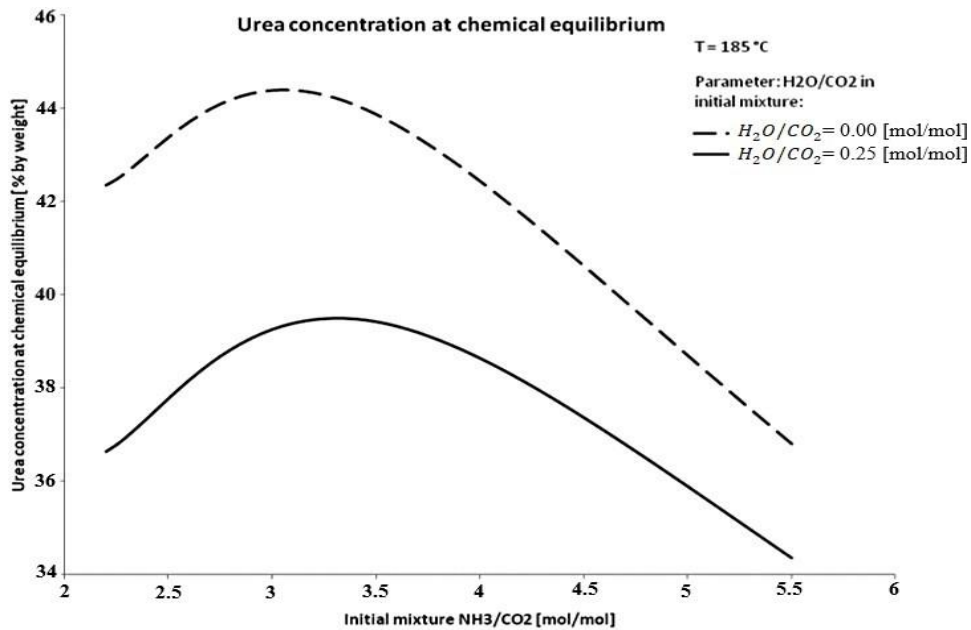


Figure II.5: Taux de conversion en fonction de la pression. [6]

### II.9.3 Concentration

Plus les concentrations des réactifs, sont élevées, la réaction est favorisée dans le sens direct conformément à la loi d'action de masse. Le CO<sub>2</sub> étant le réactif limitant. [6] Le taux élevé du rapport NH<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub> favorise la conversion. Étant donné que la déshydratation de carbamate en urée, et l'augmentation du rapport H<sub>2</sub>O : CO<sub>2</sub> défavorise la conversion.

La consommation d'eau dans le réacteur devrait donc être minimale.



**Figure II.6 :** Concentration en équilibre de l'urée en fonction des rapport N/C et H/C

### II.9.4 Temps de séjour

Du fait que, la réaction de l'urée est lente et prend environ 20 minutes pour atteindre l'équilibre, suffisamment de temps doit être fourni pour obtenir une conversion plus élevée. Le réacteur est conçu pour tenir compte des autres paramètres de température, de pression et de concentration. [6]

### II.9.5 Production d'urée à l'échelle national :

La production d'urée à l'échelle nationale est un élément clé de l'industrie des engrais en Algérie. Solfert se distingue comme l'un des principaux producteurs intégrés d'engrais azotés dans le pays, avec une capacité de production dépassant 1 million de tonnes métriques par an.

### III .9.6 Production d'urée dans le monde :

L'urée est le principal fertilisant azoté utilisé à l'échelle mondiale. Avec l'augmentation de la population de 2002 à 2024, la demande d'urée sur le marché mondial a également augmenté. Au cours de cette période, la Russie s'est positionnée en tête de la liste des pays producteurs d'urée, avec une capacité de production dépassant les 8 millions de tonnes. Cela souligne l'importance de la Russie en tant que contributeur majeur à l'approvisionnement mondial en urée.

Le prix mondial de l'urée a été sujet à des fluctuations, avec une augmentation enregistrée au mois de juillet de l'année 2021. À ce moment-là, le prix s'élevait à 441 dollars pour 1 tonne métrique. Cette variation dans les prix témoigne de la volatilité du marché mondial de l'urée et des facteurs économiques qui influent sur son prix.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons quelques généralités sur les caractéristiques physico-chimiques et l'utilisation de l'urée, les différents paramètres influençant la synthèse de l'urée ainsi que la synthèse de l'urée et les matières premières nécessaires

\_\*

# Chapitre



# Description de l'unité de production de l'urée

### III.1 Introduction :

La production d'urée implique un processus chimique complexe qui convertit l'ammoniac et le dioxyde de carbone en urée. Ce processus nécessite une technologie et des équipements spécialisés pour garantir une production efficace et rentable. L'une de ces technologies est le procédé Stamicarbon, qui a acquis une reconnaissance significative dans l'industrie pour sa fiabilité et sa production d'urée de haute qualité.

Le procédé Stamicarbon, développé par Stamicarbon BV filiale du groupe Maire Tecnimont, est une technologie de pointe pour la production d'urée, elle offre plusieurs avantages par rapport aux autres méthodes de production, notamment une efficacité dans la conception des installations. Le procédé Stamicarbon a été mis en œuvre avec succès dans de nombreuses usines de production d'urée à travers le monde, ce qui en fait un choix privilégié pour de nombreux fabricants.

La conception de base de l'unité de l'urée a été réalisée par Stamicarbon filiale de DSM (Netherlands), pour les systèmes 021, 022, 023, 024, 028, 029 et par Uhde Fertiliser Technologie B.V (Allemagne), pour le système 027 (Granulation).

L'unité opère avec du  $\text{CO}_2$

provenant du procédé de production et de tous les systèmes de compression dans un seul flux avec une capacité de 3450 MTPD résultant en un seul produit fini qui est l'Urée Granulée.

### III.2 Objectif et méthodologie :

Le procédé Stamicarbon de synthèse de l'urée est composé des équipements qui effectuent plusieurs fonctions (réaction, séparation, condensation) dont leurs modèles ne sont pas fournis dans les simulateurs de procédés tel que : Aspen Plus.

L'objectif principal de ce travail est de développer un schéma équivalent au procédé réel de synthèse de l'urée installé au niveau du complexe SORFERT. La simulation du schéma de procédé proposé en utilisant les données de design est réalisée afin de vérifier la fiabilité du schéma de procédé proposé. Les déviations entre les spécifications des courants clés sortants du procédé réel Stamicarbon et de procédé équivalent doivent être calculées pour évaluer l'inefficacité de chaque équipement proposé.

Par la suite la simulation du schéma de procédé proposé est réalisée en utilisant les données actuelles pour l'étude de l'effet de certains paramètres clés tels que: la température, la pression, les rapports N/C et H/C sur le taux de conversion de  $\text{CO}_2$ , la fraction de l'Urée en phase liquide et le rendement de l'urée.

### III .3 Les équipements nécessaires :

#### III .3.1 Pool condenseur :

##### Pool Condenser: tube bundle



**Figure III.1** : Pool condenser[17]

Les données de design des paramètres de fonctionnement et de dimensionnement du condenseur sont représentées sur la figure et le tableau suivant

**Tableau III.1** : Paramètres de dimensionnement du pool condenseur.

Paramètres	Coté tube	Coté calandre
Nombre des passes	1	2
Nombre des tubes	1240	
Longueur des tubes (mm)	12500	
Hauteur (mm)	32	
Diamètre de la calandre extérieur / intérieur (mm)	3690	

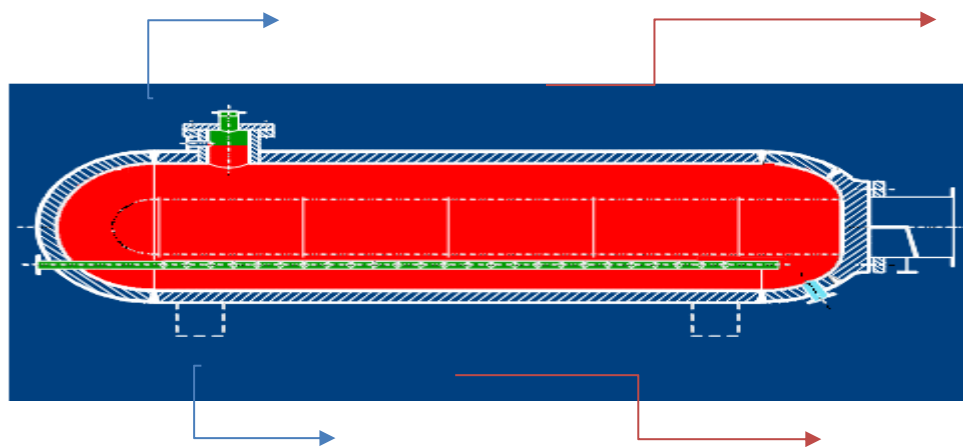




## Chapitre III : Description de l'unité de production de l'urée

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	40078.85	54.62
CO2	29519.10	40.22
Urée	0	0
H2O	2451.36	3.34
Débit total	73394.10	Kg/h
La température	178.5	C°
La pression	146.9	Bara

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	160056.34	37.88
CO2	116070.41	27.47
Urée	83619.71	19.79
H2O	62535.20	14.80
Débit total	422535.20	Kg/h
La température	178.5	C°
La pression	146.9	bara

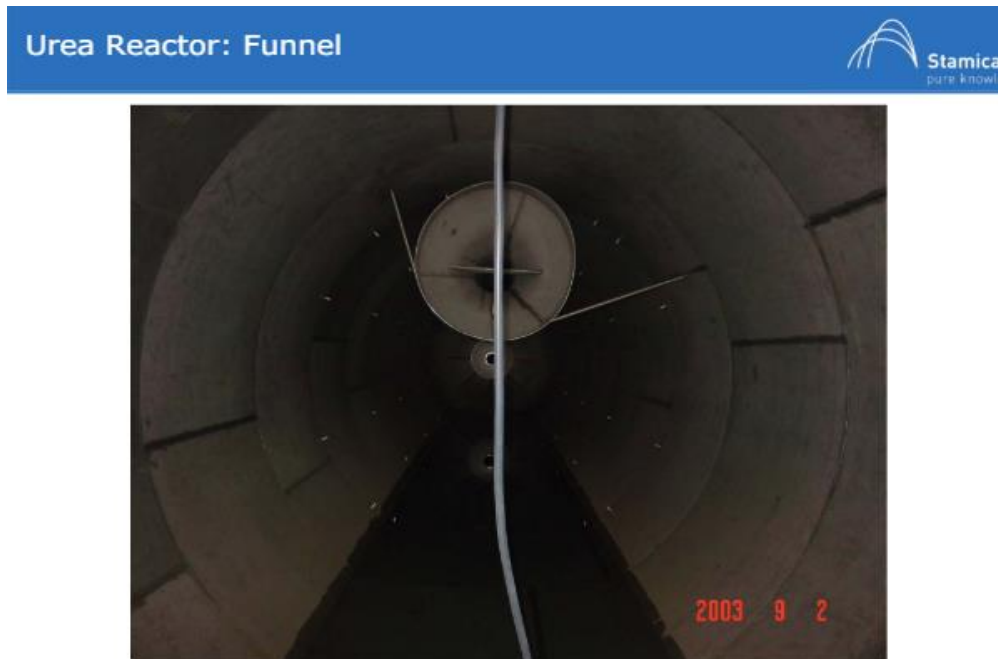


Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	122701.24	62.74
CO2	45587.6	23.31
Urée	58.67	0.03
H2O	27086.58	13.85
Débit totale	195171	Kg/h
La température	111.8	C°
La pression	146.9	Bar

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	124979.05	41.61
CO2	161472.56	53.76
Urée	0	0
H2O	12705.15	4.23
Débit total	300358.2	Kg/h
La température	188	C°
La pression	146.9	Bar

**Figure III.2:** schéma représentatif des données de design de « pool condenseur » [3]

### III .3.2 Réacteur :



**Figure III.3.** :photo réel de réacteur [18]

Les données de design des paramètres de fonctionnement et de dimensionnement du réacteur sont représentées sur la figure et le tableau suivant

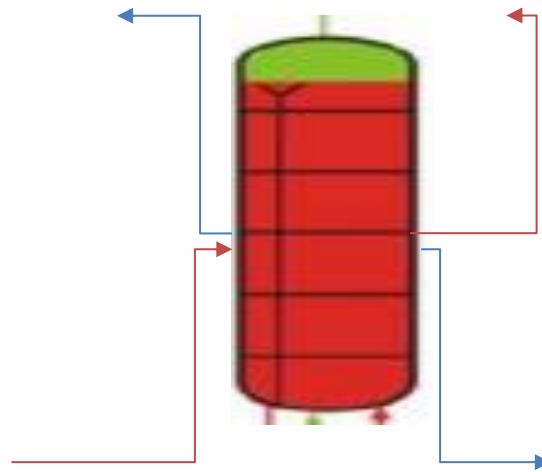
**Tableau III.2 :** Paramètres de dimensionnement du réacteur

Paramètres	Valeurs
Forme	Cylindrique
Diamètre interne (mm)	3810
Hauteur du réacteur (mm)	26245
Nombre d'étages	5
Type de Plateaux	Plateaux perforés à haute efficacité
Espace entre les étages (mm)	3744
Volume du réacteur (m <sup>3</sup> )	27

Liquide →  
Gaz →

composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	160056.33	37.88
CO2	116070.41	27.47
Urée	83619.7	19.79
H2O	62535.2	14.8
Débit totale	422535.20	Kg/h
La temperature	178.5	C°
La pression	146.9	Bara

composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	18253.11	49.28
CO2	15830.7	42.74
Urée	0	0
H2O	1618.6	4.37
Débit totale	37039.6	Kg/h
La temperature	185.5	C°
La pression	144	Bara



composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	40087.85	54.62
CO2	29519.10	40.22
Urée	0	0
H2O	2451.36	3.34
Débit totale	73394.1	Kg/h
La temperature	178.5	C°
La pression	146.9	Bara

composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	142255	31
CO2	78516	17.11
Urée	153315.01	33.41
H2O	84343.9	18.38
Débit totale	458889.6	Kg/h
La temperature	185.5	C°
La pression	144	Bara

**Figure III.4:** schéma représentatif des données de design de « réacteur » [3]

### III .3.3 Décomposeur « Strippeur » :



Figure III.5 : photo réel de HP stripper [19]

Les données de design des paramètres de fonctionnement et de dimensionnement du condenseur sont représentées sur la **figure** et le tableau suivant :

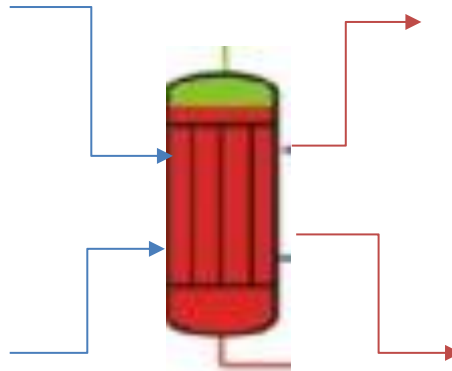
Tableau III.3 : Paramètres de dimensionnement du stripper [3]

Spécifications	Coté tube	Coté calandre
Nombre des passes	1	1
Nombre des tubes		4715
Langueur des tubes (mm)		6000
Hauteur (mm)		40
Nombre de chicanes		4
Diamètre de la calandre extérieur / intérieur (mm)		3

## Chapitre III : Description de l'unité de production de l'urée

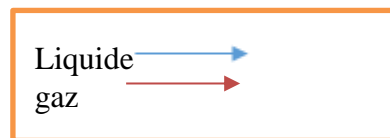
Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	142255	31
CO2	78516	17.11
Urée	153315.01	33.41
H2O	84343.9	18.38
Débit totale	458889.6	Kg/h
La température	185.5	C°
La pression	144	Bara

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	124979.05	41.61
CO2	161472.56	53.76
Urée	0	0
H2O	12705.15	4.23
Débit totale	300358.2	Kg/h
La température	188	C°
La pression	146.9	Bara



composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	233.2	0.22
CO2	104611.26	98.68
Urée	1038.9	0.98
H2O	127.21	0.12
Débit totale	106010.60	Kg/h
La température	110	C°
La pression	146.9	Bara

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	22909.33	8.66
CO2	28914.44	10.93
Urée	143275.9	54.16
H2O	68754.46	25.99
Débit totale	264542	Kg/h
La température	173.3	C°
La pression	146.9	Bara



**Figure III.6:**schéma représentatif des données de design du stripper[3]

### III .3.4 Scrubber :



**Figure III.7** :photo réel de HP condenseur[20]

Les données de design des paramètres de fonctionnement et de dimensionnement du condenseur sont représentées sur la **figure** et le tableau suivant :

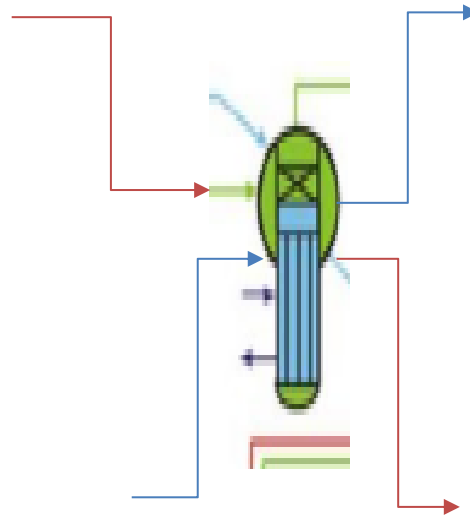
**Tableau III.4** Paramètres de dimensionnement du Scrubber[3]

Spécifications	Coté tube	Coté calandre
Nombre des passes	1	1
Nombre des tubes	642	
Longueur des tubes (mm)	2000	
Hauteur (mm)	43	
Disposition des tubes (deg)	30	
Nombre de chicanes	3	
Diamètre de la calandre extérieur / intérieur (mm)	1350	

## Chapitre III : Description de l'unité de production de l'urée

composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	23824.41	30.08
CO2	29954.76	37.82
Urée	55.44	0.07
H2O	32.03	32.03
Débit totale	79203.5	Kg/h
La température	76.2	C°
La pression	143.4	Bara

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	18253.11	49.28
CO2	15830.7	12.12
Urée	1036.89	66.81
H2O	219.91	14.17
Débit totale	1552	Kg/h
La température	98.6	C°
La pression	143.4	Bara



composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	18253.11.	49.28
CO2	15830.72	42.74
Urée	0	0
H2O	1618.63	4.37
Débit totale	37039.6	Kg/h
La température	185.5	C°
La pression	144	Bara

Composant	Débit massique (kg/h)	% en poids
NH3	42045.7	36.66
CO2	45589.71	39.75
Urée	57.34	0.05
H2O	26986.81	23.53
Débit totale	114691.1	Kg/h
La température	165	C°
La pression	143.4	Bara

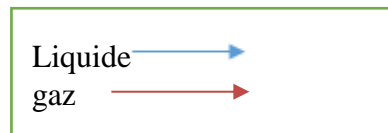


Figure III.8: Schéma représentatif des données de design du scrubber

### III.4. L'unité de production

L'unité opère avec du CO<sub>2</sub> provenant du procédé de production et de tous les systèmes de compression dans un seul flux avec une capacité de 3450 MTPD résultant en un seul produit fini qui est l'Urée Granulée.

L'Unité peut être divisée en systèmes comme suit :

- 020 Compression du CO<sub>2</sub>
- 021 Pomperie d'Ammoniac
- 022 Synthèse
- 023 Recirculation
- 024 Évaporation
- 027 Granulation
- 028 Désorption et Hydrolyse
- 029 Vapeur et Condensation

#### III.4.1. Compression du CO<sub>2</sub> système 020

Le Dioxyde de carbone avec une petite quantité d'Air provenant de l'extrémité de la ligne Ammoniac 1 est aspiré par le compresseur du dioxyde de carbone qui élève sa pression à environ 150 bar. Un convertisseur d'hydrogène est intégré dans le compresseur du dioxyde de carbone.

Dans ce convertisseur l'hydrogène présent dans le dioxyde de carbone est extrait par combustion sur un Catalyseur avec le gaz CO<sub>2</sub>.

Le dioxyde de carbone déshydrogéné est introduit dans la partie inférieure du Stripper.

#### III.4.2 Pompage d'ammoniac système 021

L'Ammoniac liquide est acheminé depuis l'installation jusqu'à la pompe à Ammoniac haute pression et il est comprimé à environ 188 bars. La pompe refoule l'Ammoniac dans le pool condenseur de synthèse via l'éjecteur d'Ammoniac haute pression ; l'Ammoniac constitue la force motrice permettant la circulation du carbamate au-delà du laveur haute pression

#### III.4.3 Synthèse Système 022 :

Les deux flux d'alimentation, l'Ammoniac et le dioxyde de carbone sont introduits dans la section de synthèse à un rapport molaire de **2:1 respectivement**.

L'Ammoniac avec carbamate d'ammonium, également appelé carbamate, provenant du laveur haute pression et le dioxyde de carbone avec le gaz sortant du Stripper est introduit dans le



condenseur de synthèse, qui est un échangeur de chaleur à tubes plongés dans du liquide. La majeure partie du gaz se condense avec l'Ammoniac et se transformera en carbamate.

La déshydratation du carbamate en Urée se produira dans le condenseur de synthèse et par suite dans le réacteur. L'effluent du réacteur est distribué le long des tubes du Stripper, qui est un échangeur de chaleur tubulaire à ruissellement. Ici, l'effluent du réacteur est mis en contact à contre-courant avec du dioxyde de carbone, provoquant la baisse de la pression partielle de l'Ammoniac et la décomposition du carbamate. La chaleur requise pour cette opération est obtenue en faisant passer de la vapeur haute pression saturée autour des tubes du Stripper.

La solution d'Urée provenant du Stripper haute pression s'écoule vers la section de recirculation basse pression. Les gaz éliminés du Stripper sont envoyés vers le condenseur de synthèse. Dans le condenseur de synthèse, la condensation des gaz éliminés du condenseur haute pression se produit.

La chaleur de la condensation est utilisée pour générer de la vapeur basse pression à 4,4 bars.

La fraction liquide dans le condenseur de synthèse y permet la formation d'une quantité considérable d'Urée. L'Urée formée, le carbamate non transformé, l'excès d'Ammoniac ainsi qu'une partie de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone non condensés sont ensuite introduits dans la partie inférieure du réacteur où se produira la conversion du carbamate en Urée.

Le volume du réacteur permet un temps de séjour suffisant pour que la réaction approche l'équilibre. La chaleur nécessaire à la transformation et au réchauffement de la solution dans le réacteur est obtenue par une condensation supplémentaire de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone.

L'effluent du réacteur traverse le tuyau de descente vers le stripper. Les matières inertes introduites avec le dioxyde de carbone et une partie de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone non transformé quittent le sommet du stripper vers le laveur haute pression.

Dans la partie inférieure du laveur haute pression, l'Ammoniac et le dioxyde de carbone sont condensés.

Dans la partie supérieure, les gaz provenant de la section inférieure sont mis en contact à contre-courant avec la solution de carbamate, laquelle est formée dans la section de recirculation basse pression. Les gaz sont évacués de la colonne d'évent via un absorbeur BP.

La solution de carbamate provenant du laveur haute pression s'écoule vers l'éjecteur d'Ammoniac haute pression. La pression d'alimentation en Ammoniac est telle qu'elle permet une hauteur de charge suffisante dans l'éjecteur d'Ammoniac haute pression pour acheminer la solution de carbamate du laveur haute pression au condenseur de synthèse.

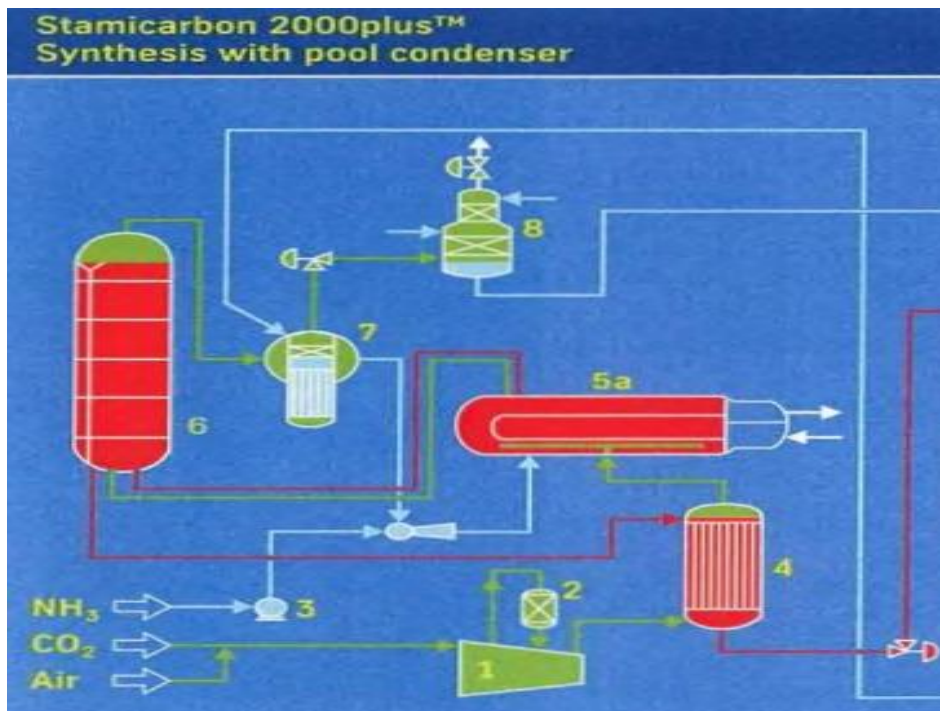


Figure III.9 Synthèse avec pool condenser

### III.4.4 Section de recirculation (système 023) :

Dans cette section, la majeure partie de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone non transformés sont récupérés dans la solution Urée / carbamate provenant de la partie inférieure du stripper.

Cette solution est détendue. C'est pourquoi une portion du carbamate restant dans la solution se décompose et s'évapore.

Le liquide restant est réparti dans la colonne de rectification. La solution Urée / carbamate est envoyée de la partie inférieure de la colonne de rectification vers un réchauffeur afin de décomposer le carbamate restant. La chaleur requise est apportée par de la vapeur basse pression. Dans le séparateur (c'est-à-dire la partie inférieure de la colonne de rectification), la phase gazeuse est séparée de la phase liquide.

Les gaz sont dirigés vers la colonne de rectification où ils sont refroidis par la solution plus froide d'Urée / carbamate. Cela entraîne la condensation d'une portion de la vapeur d'eau contenue dans les gaz.

Les gaz provenant de la colonne de rectification sont introduits dans la partie inférieure du condenseur de carbamate basse pression ; ils y sont condensés en quasi-totalité. Les condensats de procédé sont fournis au condenseur de carbamate basse pression, ainsi que les vapeurs de

tête condensées provenant du premier désorbeur, afin de réguler la concentration d'eau dans la solution de carbamate.

La solution de carbamate s'écoule depuis le réservoir de niveau du condenseur de carbamate basse pression jusque l'aspiration de la pompe de carbamate haute pression ; sa pression est élevée et la solution de carbamate est ensuite refoulée vers le laveur haute pression.

La solution d'Urée provenant de la partie inférieure de la colonne de rectification s'écoule vers le réservoir de détente atmosphérique. En raison de la détente adiabatique, une portion de l'eau s'évapore et une partie de l'Ammoniac, du dioxyde de carbone et des matières inertes sont libérées. Ces vapeurs sont en partie condensées dans le condenseur à réservoir de détente, et l'Ammoniac et le dioxyde de carbone restants sont décomposés à partir des matières inertes dans l'absorbeur atmosphérique.

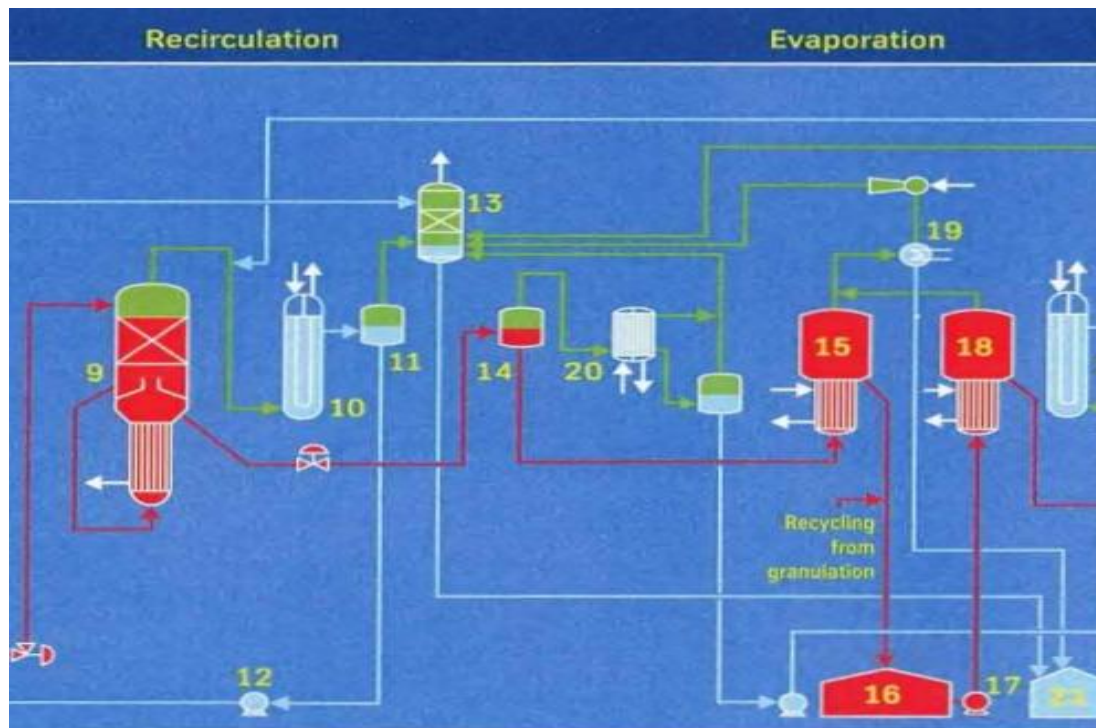


Figure III.10 : schéma de recirculation et évaporation

### III.4.5 Evaporation (système 024) :

La solution provenant du séparateur de détente atmosphérique s'écoule vers le pré-évaporateur. Une partie de l'eau contenue dans la solution s'évapore ici pour augmenter la concentration d'Urée. La solution d'Urée recyclée provenant de l'Unité de granulation est introduite dans la ligne d'alimentation du pré-évaporateur. Finalement, la solution d'Urée est expédiée vers le réservoir de solution d'Urée.

La solution d'Urée est pompée depuis le réservoir de solution d'Urée vers l'évaporateur ; ou elle est concentrée au moyen de la vapeur BP et en réduisant la pression. Dans le séparateur d'évaporation, le flux provenant du réchauffeur de l'évaporateur est séparé en une phase gazeuse et une phase liquide. La vapeur provenant du séparateur est condensée dans le condenseur avec les vapeurs provenant du pré-évaporateur du séparateur. La solution d'Urée provenant du séparateur de l'évaporateur s'écoule vers l'aspiration de la pompe à Urée fondue, puis elle est expédiée vers l'Unité de granulation après le mélange avec la solution de formaldéhyde. Les condensats provenant du condenseur de l'évaporateur sont expédiés vers le réservoir d'eau Ammoniacale.

### III.4.6 Granulation (système 027):

Dans la section de granulation de l'Unité, la solution d'Urée alimente le granulateur. Du formaldéhyde est ajoutée au flux d'Urée comme additif en amont de la pompe. Dans le granulateur, un lit fluidisé du produit est généré par le ventilateur de fluidisation de la granulation. Dans ce lit fluidisé, consistant en de fines granules recyclées, des granules broyées surdimensionnées et de la poussière, la solution d'Urée est vaporisée et atomisée en de fines particules, lesquelles refroidissent les particules d'Urée durant la fluidisation. De ce fait, le diamètre de la particule augmente. Dans la dernière partie du granulateur, le produit est refroidi par l'air de fluidisation à une température d'environ 94 °C.

À la sortie du granulateur, des tamis de sécurité sont installés pour éliminer les agglomérats et particules de plus de 10 mm de diamètre du flux de produit. Les agglomérats retirés sont collectés dans le réservoir de recyclage 027D004 où ils sont dissouts avec les blocs provenant des tamis vibrants. La solution qui en résulte est recyclée vers la section d'évaporation d'Urée. Une fois le tamis de sécurité passé, le produit est refroidi ; de là, il est transféré par élévateur à godets 027H002 vers le tamis vibrant. Le tamis sépare le produit en trois fractions. La fraction de produit surdimensionné est transférée vers les broyeurs à cylindres et de là vers le granulateur comme recyclage. Le produit de bonne taille est transféré vers le refroidisseur final. La fraction de produit sous-dimensionné est également recyclée vers le granulateur. Le produit dans le refroidisseur final est refroidi et est transféré ultérieurement au stockage. Les flux d'airs pour le nettoyage sont injectés dans le laveur de refroidisseur et le laveur de granular.

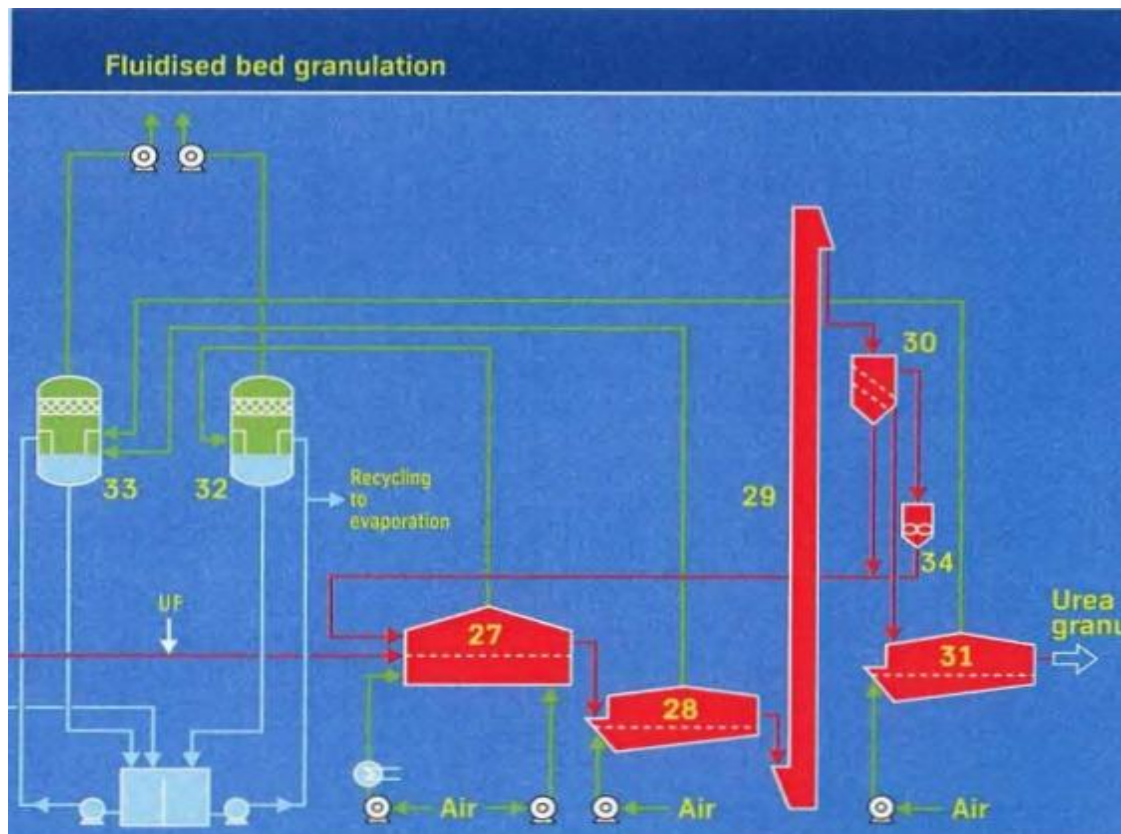


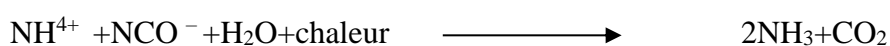
Figure III.11 Schéma de granulation

### III.4.7. Désorption et hydrolyse (system 028) :

Les condensats de procédé provenant du condenseur de l'évaporateur sont collectés dans le réservoir d'eau. Ils sont utilisés comme absorbeur BP et absorbeur BP et absorbeur atmosphérique.

- Liquide de dilution pour l'Ammoniac et le dioxyde de carbone condensés dans le condenseur de carbamate basse pression,
- Alimentation du premier désorbeur pour récupérer l'Ammoniac et le dioxyde de carbone,
- Liquide de dilution pour le condenseur à réservoir de détente.

L'Hydrolyse de l'urée débarrassée le maximum possible de la phase gaz des composés d'ammoniac et de CO<sub>2</sub> durant l'étape de la désorption prend place dans l'hydrolyseur sous réaction suivante :



Dans le premier désorbeur, le volume d'ammoniac et de dioxyde de carbone est décomposé au moyen des vapeurs provenant du second désorbeur et de l'hydrolyseur. L'effluent inférieur du premier désorbeur est pompé via l'échangeur de chaleur de l'hydrolyseur, l'Urée est décomposée en Ammoniac et en dioxyde de carbone tout en étant chauffée.

Afin d'obtenir des concentrations d'Urée dans l'effluent de l'hydrolyseur inférieures à 1 ppm, l'alimentation est mise en contact à contre-courant avec la vapeur directe.

Le produit provenant du bas de l'hydrolyseur, contenant uniquement des traces d'Urée, se dirige vers le second désorbeur via l'échangeur de chaleur de l'hydrolyseur, les vapeurs de tête de l'hydrolyseur sont expédiées vers le premier désorbeur. Après un refroidissement de l'effluent de l'hydrolyseur dans l'échangeur de chaleur de l'hydrolyseur, il est introduit en haut du second désorbeur. Ici, l'Ammoniac et le dioxyde de carbone restants sont décomposés au moyen de la vapeur BP. L'effluent du second désorbeur est refroidi dans l'échangeur de chaleur du désorbeur lors de son introduction dans le premier désorbeur, et par la suite dans le refroidisseur de démarrage par l'eau de refroidissement.

La teneur est inférieure à 1 ppm d'Urée et d'Ammoniac pour chacun. Il est utilisé comme alimentation du laveur dans la section de granulation et comme condensats de procédé dans la section de reflux. Le reste est vidangé hors de l'installation où il peut être utilisé à plusieurs autres fins.

Les gaz du premier désorbeur sont condensés dans le condenseur de reflux, et ils sont transférés comme une solution pauvre en carbamate vers le condenseur de carbamate basse pression.

Les vapeurs non condensées sont envoyées à l'absorbeur atmosphérique.

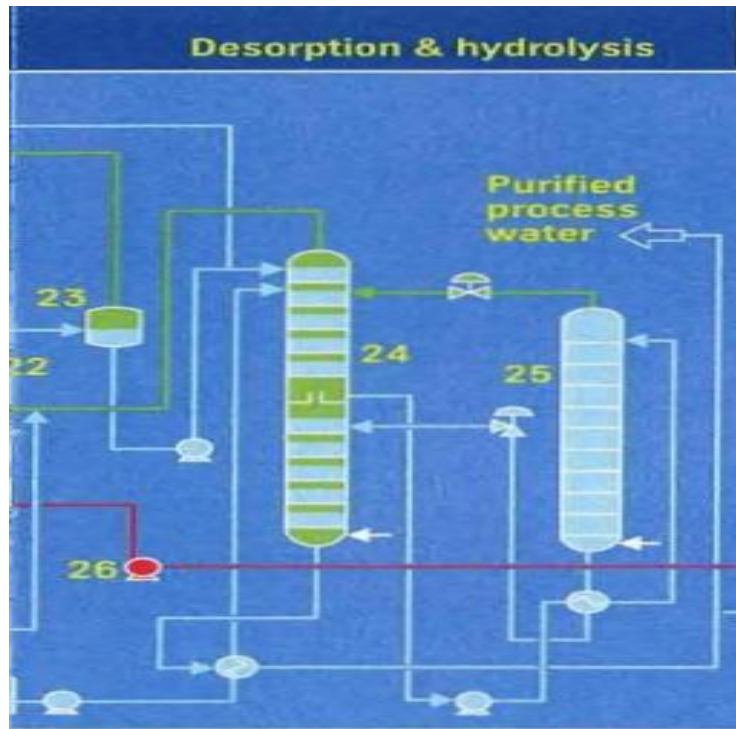


Figure III.12. schéma de désorption et hydrolyse

## III.4.8 VAPEUR ET CONDENSAT system 029 :

Cette unité est intégrée avec les autres unités là où elle est déjà mentionnée dans chaque système. Relation Entre Les Différents System De Production DE L'unité D'urée Pour visualiser la relation vous trouverez le diagramme des étapes du procédé.

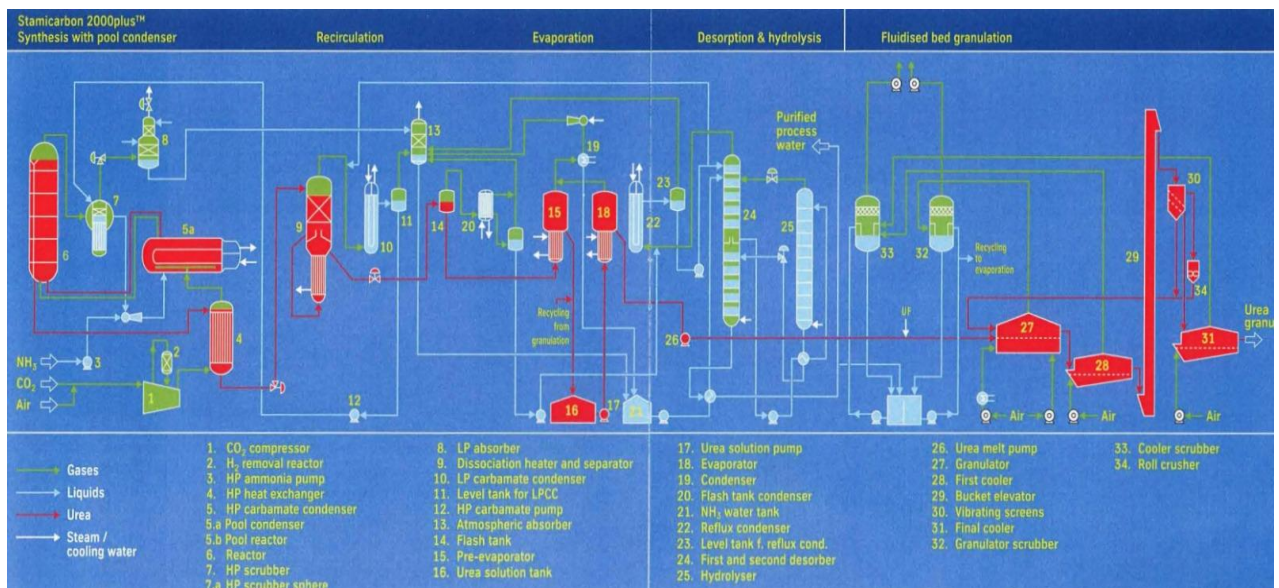


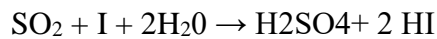
Figure III.13. Schéma de synthèse.

### III.5. Les analyses effectuées sur l'urée produit final :

#### III.5.1 Détermination de la teneur en humidité :

##### Principe :

On utilise la méthode de Karl Fisher dans la détermination de la teneur en eau dans l'urée qui repose sur l'oxydation du dioxyde de soufre en présence d'eau :



On fait l'analyse sur l'humidité en premier afin d'éviter la contamination de notre échantillon.

##### Norme ;

%humidité < 0,3

##### Appareils et verreries :

- Karl Fisher
- Balance

##### Réactifs :

- L'urée granule

##### Mode opératoire :

Peser 1g d'urée dans la balance

- Attendre jusqu'à l'atteinte du point d'équivalence et l'affichage du résultat de l'humidité dans l'afficheur du Karl Fisher

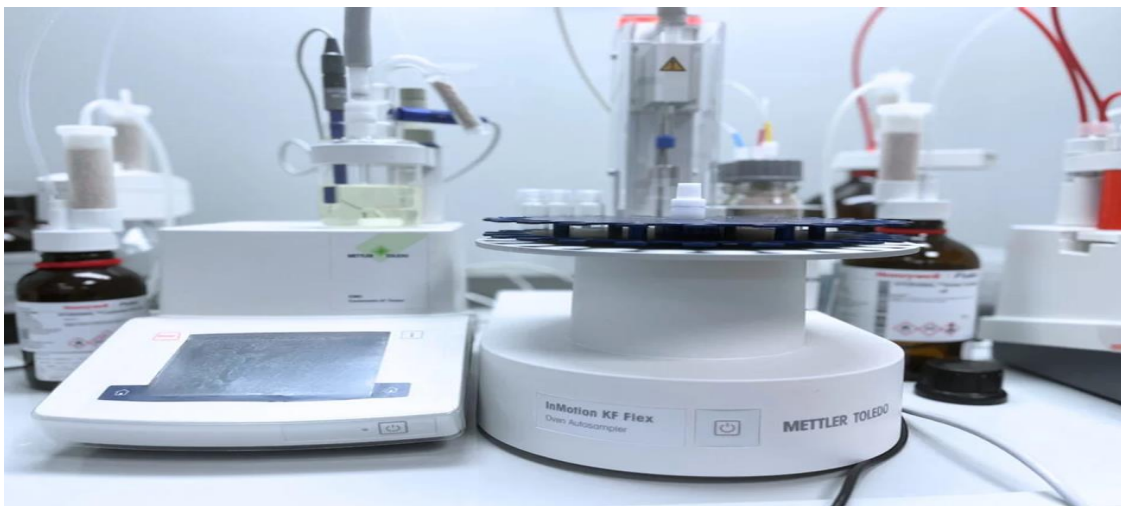


Figure III.14 : Appareillage de Karl Fisher



### III.5.2. Détermination de la masse volumique apparente

#### Principe

Cette notion désigne la masse de produit contenue dans un volume donné et inclut l'air entre les granulés.

#### Norme

$\Phi \sim 750$

#### Appareils et verreries :

- Balance
- Eprouvette de 500 ml

#### Protocole :

1. Peser une éprouvette de 500 ml vide
2. Remplir l'éprouvette jusqu'à 500 ml avec l'urée et la peser
3. Entasser l'urée pendant 5 minutes jusqu'à ce que le volume change
4. Ajouter plus d'urée jusqu'à 500 ml et peser l'éprouvette

#### Calcul :

$$\Phi(\text{g/l}) = \frac{(m_1 - m_2) - m_0}{100}$$

### III.5.3. Cushing test :

#### Principe :

C'est une caractéristique à prendre en compte pour l'entreposage, la manutention et l'épandage des engrais avec des granulés durs résistants, l'épandeur dégage moins de poussières au travail et la répartition est plus homogène.

#### Norme

-(k f g)=3 (1kf g =8.9N)

-Appareils et verreries

-cushing test

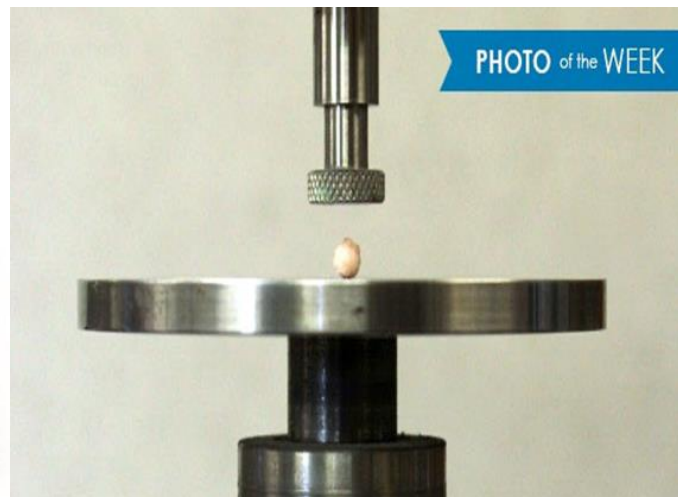
#### Protocole :

-mettre un granule d'urée prélevé du tamis de diamètre de 3.2mmdans le cushing test mesure la dureté

-Répéter l'opération plusieurs fois et calculer la dureté moyenne

**Tableau III.5** : calcul de la dureté moyenne

1(kgf)	2(kgf)	3(kgf)	4(kgf)	5(kgf)	Moyenne (kgf)
3.48	3.15	3.16	2.95	3.4	3.22

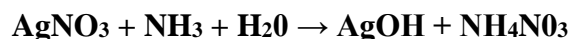


**Figure III.15** :cruching test

### III.5.4 Dosage de l'ammoniac libre NH<sub>3</sub> :

#### Principe :

L'ammoniac volatilisé représente un fléau environnemental. Le respect de l'environnement impose de limiter au maximum les émissions des émissions d'ammoniac issues de la fertilisation azotée car elles constituent une source inutile de pollution et en même temps c'est une perte directe de l'azote alors on effectue un titrage acido-basique pour déterminer la concentration du NH<sub>3</sub> libre dans l'urée granulé selon la réaction :



#### Norme

NH<sub>3</sub> (ppm) < 70

#### Appareils et verreries :

- Burette
- Becher
- Balance

#### Protocole

1. Peser 20g d'urée et le faire fondre dans un bécher contenant 50 ml d'eau distillée
2. Ajouter un indicateur colore (phénophtaléine) et l'apparition d'une couleur rose
3. Titrer avec du nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>) 0.01N jusqu' à la disparition de la couleur Rose
4. Faire le calcul en fonction du volume de AgNO<sub>3</sub>, ajoute (V)

#### Calcul :

NH<sub>3</sub> (ppm) =  $V * N * M * 1000/m$

M: masse de l'urée

M: masse molaire d' NH<sub>3</sub>

V: normalité de AgNO<sub>3</sub>

### III.5.5 Détermination de biuret :

#### Principe :

Le biuret est un composé organique obtenu par condensation de deux molécules d'urée selon la réaction :



Étant un toxique pour les végétaux, pour déterminer cette dernière on effectue une analyse par spectrophotométrie.

#### Norme :

$$*Bi < 1$$

#### Appareils et verreries :

- Fiole 50 ml
- Pipette 10 ml
- Spectrophotomètre UV/VIS
- Balance

#### Protocole :

1. Peser 1g d'urée et la verser dans une fiole de 50 ml
2. Prélever 10 ml de sulfate de cuivre et 10 ml de potassium sodium tartrate tétra-hydrate dans la fiole
3. Remplir la fiole avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge
4. Patienter 10 min jusqu'à l'apparition d'une couleur bleu foncé
5. Faire passer la solution dans le spectrophotomètre  $l = 550 \text{ mm}$  après avoir l'étalonnée avec le blanc (eau distillée + les réactifs) et entrer le facteur de dilution  $F = V/m$
6. Lire la concentration de biuret dans l'afficheur

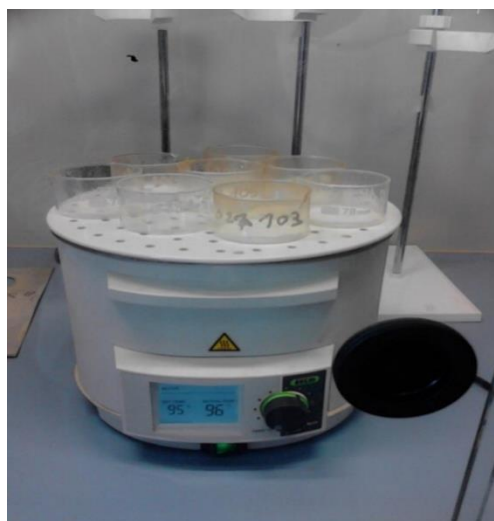


Figure III.16 : détermination de l'urée

### III.5.6 Détermination de formaldéhyde :

#### Principe :

Les résines urée-formaldéhyde trouvent des applications dans les adhésifs, les revêtements, les stratifiés et les compositions à mouler. Dans la production de l'urée ils sont utilisés dans la phase de granulation pour déterminer sa concentration on effectue une analyse par spectrophotométrie.

#### Norme

%HCHO < 0,55

#### Appareils et verreries

Fiole de 100 ml Pipette 5 ml Fiole 1000 ml

Spectrophotomètre

#### Réactifs :

- Acide chromo tropique
- Acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98%)
- Acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (5N)

#### Protocole :

1. Dissoudre 2g d'urée dans une fiole de 1000 ml (sol A)
2. Prélever 5ml de la solution A dans une fiole de 100 ml
3. Ajouter 5 ml d'acide chromo tropique et 2 ml et faire agiter la solution
4. Prélever 25 ml d'acide sulfurique H-SO (98%)
5. Patienter 30 min
6. Compléter avec l'Acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (5N)
7. Faire passer dans le spectrophotomètre  $\lambda = 570$  nm dans une cuvette de 1 cm

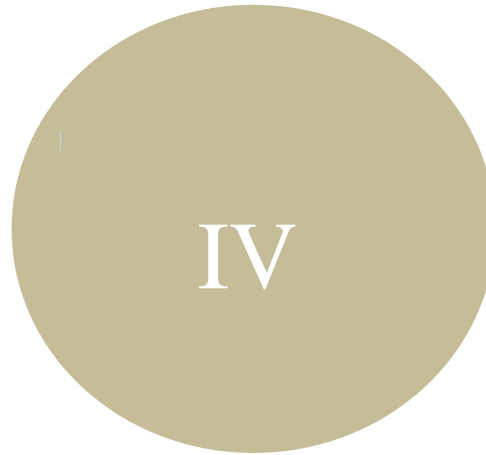


Figure III.17 : détermination de formaldéhyde dans l'urée

### Conclusion :

Les différents procédés décrits pour la fabrication de l'urée à l'échelle mondiale montrent l'importance de cette substance, qui améliore le rendement et la qualité des cultures. En effet, 90 % de la production mondiale est destinée à être utilisée comme engrais dans l'agriculture. L'urée reste l'engrais azoté solide d'usage commun ayant la plus forte teneur en azote, ce qui en fait l'engrais présentant les plus faibles coûts de transport.

**Chapitre**



**Optimisation du procédé  
Stamicarbon**

### IV .1 Introduction :

Il existe une demande toujours croissante d'urée et, par conséquent son processus de production reste un sujet de recherche populaire. Cependant, dans le climat actuel, des études visant à résoudre les défis industriels et à rechercher une conception de processus plus durable sont nécessaires. Des travaux antérieurs concernant la simulation de la production à l'échelle industrielle ont été développés, mais presque aucun d'entre eux n'est reproductible ni ne prend en compte les paramètres de qualité de l'urée. Les conditions de fonctionnement sévères du procédé et le manque d'informations sur le biuret constituent les principaux défis de la modélisation et de la simulation d'un procédé aussi complexe. Ce travail propose une approche systématique pour la simulation et la validation du processus actuel de production d'urée. Les données industrielles de la plus grande installation d'urée opérationnelle en Amérique latine (*Nitrogen Fertilizer Unit III (UFN III) Três Lagoas, Brazil*) sont utilisées. La simulation est validée par rapport à plus de 30 paramètres industriels. Un écart inférieur à 6% est obtenu pour la composition massique et inférieure à 8% pour l'autre variable considérée. Ce travail est un point clé pour les études rétrojett et la conception de nouveaux modèles de procédés.

### IV .2 Définition de la simulation :

La simulation est un outil utilisé dans différents domaines de l'ingénierie et de la recherche en général, le comportement du système peut être analysé avant la mise en œuvre, et Optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et différentes conditions fonctionner. Il repose sur le développement d'un modèle de système et permet la mise en œuvre de Scénarios et déduire le comportement du système physique analysé.

Les modèles ne sont pas des représentations exactes de la réalité physique, mais seulement Capacité à récupérer les caractéristiques les plus importantes du système analysé.

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement, autrement dit, la simulation permet de représenter les différents phénomènes : transfert de matière et de chaleur, se dans les différentes opérations unitaires par modèles thermodynamiques, qui traduisent leur comportement par l'intermédiaire de résolution des équations analytiques.



### IV .3 Objectif de la simulation

Le procédé Stamicarbon de synthèse de l'urée est composé des équipements qui effectuent plusieurs fonctions (réaction, séparation, condensation) dont leurs modèles ne sont pas fournis dans les simulateurs de procédés tel que : Aspen Plus. L'objectif principal de ce travail est de développer un Schéma équivalent au procédé réel de synthèse de l'urée installé au niveau du complexe SORFERT.

La simulation du schéma de procédé proposé en utilisant les données de design est réalisée afin de vérifier la fiabilité du schéma de procédé proposé. Les déviations entre les spécifications des courants clés sortants du procédé réel Stamicarbon et de procédé équivalent doivent être calculées pour évaluer l'inefficacité de chaque équipement proposé. Par la suite la simulation du schéma de procédé proposé est réalisée en utilisant les données actuelles pour l'étude de l'effet de certains paramètres clés tels que : la température, la pression, les rapports N/C et H/C sur le taux de conversion de CO<sub>2</sub>, la fraction de l'Urée en phase liquide et le rendement de l'urée.

### IV .4 Présentation du simulateur Aspen plus :

Aspen Plus est un logiciel qui permet à l'utilisateur de construire un modèle de processus et de le simuler à l'aide de calculs complexes (modèles, équations, calculs mathématiques, régressions, etc.)

Le programme Aspen a été développé initialement dans le cadre d'une recherche menée sous l'égide du département d'énergie American entre 1975 et 1981, ensuite été repris par la société Aspen Technologie qui développe et commercialise le logiciel Aspen plus depuis 1981.

L'AP offre de nombreux avantages, de la conception de nouveaux processus à l'amélioration des processus existants. C'est d'ailleurs ce qu'assure AP sur son site web.

Il maximisera les profits en utilisant une solution de simulation à l'échelle de l'usine qui combine une précision inégalée et une collaboration d'ingénierie avec des flux de travail qui permettent de gagner du temps.

Compte tenu de la conception d'un processus et d'une sélection appropriée de modèles thermodynamiques, l'AP utilise des modèles mathématiques pour prédire les performances du processus, Les ingénieurs simulent généralement ce processus à l'aide du logiciel afin d'optimiser la conception et d'améliorer les modèles existants.

Cette modélisation précise des propriétés thermodynamiques est particulièrement importante pour la séparation des mélanges non idéaux.

### IV .5 Principe de fonctionnement :

Tout simulateur industriel de procédés chimique est organisé autour des modules suivantes :

- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de décrire les liaisons entre les différentes opérations Unitaire constituant l'unité (PFD pour Diagramme de flux de processus).
- Des 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 d de charges, etc.
- Un ensemble de méthodes numériques 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 des mélanges, qui puisse aussi communiquer avec autres applications comme Excel, Visual Basic et Matlab.

### IV .6 Simulation par Aspen Plus :

Notre étude décrit le modèle Aspen Plus en régime permanent de la boucle de synthèse à haute pression d'une usine d'urée, avec une capacité d'environ 1 100 tonnes métriques d'urée perlée par an. Cette simulation est basée sur le procédé Stamicarbon CO<sub>2</sub> Stripping, qui est un procédé populaire et en croissance rapide pour la fabrication de l'urée.

La modélisation est compliquée en raison de la formation de carbamate d'ammonium, un produit intermédiaire pour lequel un ensemble de propriétés spéciales doit être développé.

Ce modèle est utile pour analyser les performances de l'usine et améliorer son fonctionnement, notamment :

- Etudes d'économie d'énergie pour améliorer la rentabilité de l'usine.
- Études d'équipements individuels en vue d'augmenter leur taux de charge et d'améliorer leurs performances.
- Identifier les goulots d'étranglement.

## Chapitre IV : Optimisation du procédé Stamicarbon

• Comme base pour l'étude d'optimisation et pour le développement du système de contrôle avancé APC.

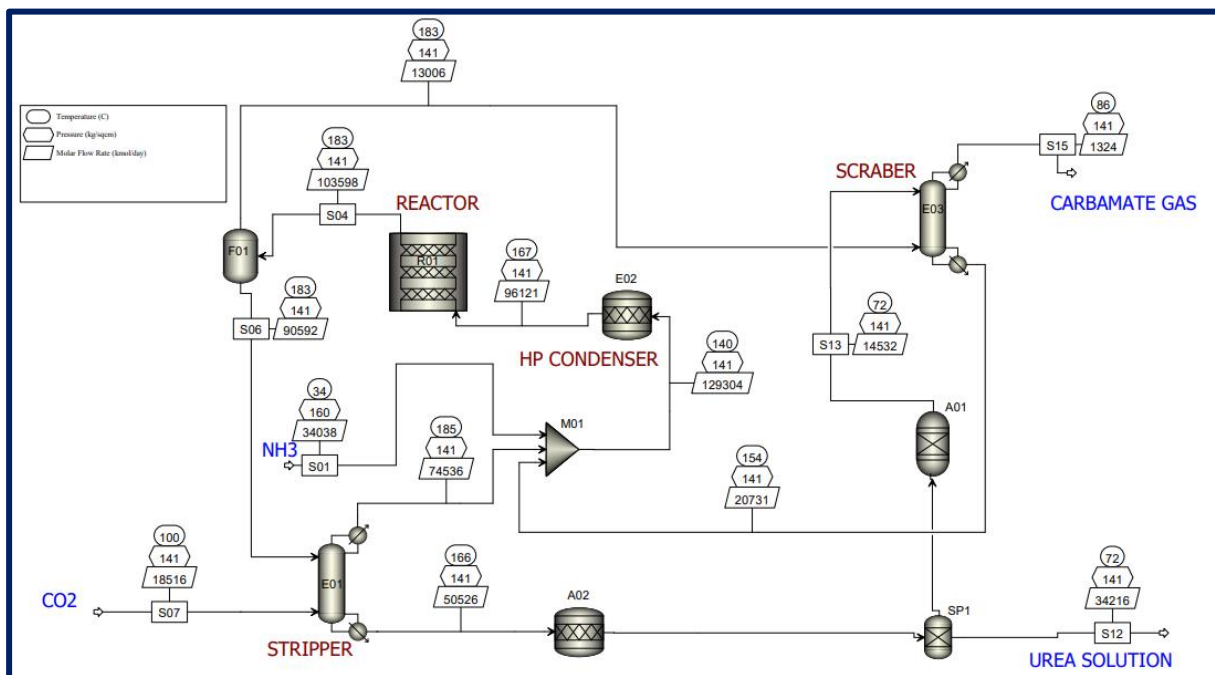
Afin de bien identifier les facteurs ou les variables qui impactent les performances des équipements et par conséquent l'unité globale de production, une procédure d'analyse de sensibilité a été utilisée.

### IV .7 Composants, unités de mesure et équipements :

Le tableau ci-dessous répertorie les composants modélisés dans la simulation. La figure IV.1 donne un aperçu global sur le procédé de synthèse de l'urée au niveau du complexe industriel Sorfert.

**Tableau IV.1** : les composants modélisés dans la simulation

Nom du Composant	Composant ID	Type	Formule
L'eau	H2O	CONV	H <sub>2</sub> O
l'ammoniac	NH3	CONV	H <sub>3</sub> N
Dioxyde de carbone	CO2	CONV	CO <sub>2</sub>
L'urée	UREA	CONV	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O
Carbamate ammonium	CARB	CONV	CH <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Nitrogène	N2	CONV	N <sub>2</sub>
Oxygène	O2	CONV	O <sub>2</sub>



**Figure IV.1** : schéma de la simulation de la boucle de synthèse de l'urée

## Chapitre IV : Optimisation du procédé Stamicarbon

La boucle haute pression fonctionne à environ 141 kg/cm<sup>2</sup> (abs) et se compose des équipements clés suivants :

Equipment	Usage
R01	Réacteur à urée, où le carbamate d'ammonium est déshydraté en urée
E01	H.P. CO <sub>2</sub> Stripper, où la majeure partie du carbamate n'ayant pas réagi provenant de l'effluent du réacteur est décomposée par stripping avec du CO <sub>2</sub> gazeux et avec un apport de chaleur.
E02	H.P. Condenseur, où le CO <sub>2</sub> et le NH <sub>3</sub> gazeux se condensent et réagissent pour former du carbamate d'ammonium.
E03	H.P Scrubber, où la solution de carbamate recyclée de la section basse pression en aval est utilisée pour absorber les gaz n'ayant pas réagi du réacteur.

**Tableau IV.2 :** les équipement nécessaire

### IV .8 Description du processus :

Le processus est décrit comme suit :

- Le gaz CO<sub>2</sub> d'alimentation (S07) est introduit dans le strippeur de CO<sub>2</sub>, E01, pour extraire la solution d'urée provenant du réacteur. Dans le strippeur, le carbamate d'ammonium se décompose, libérant davantage de NH<sub>3</sub> et de CO<sub>2</sub> à éliminer. La chaleur est fournie du côté de l'enveloppe des tubes par la condensation de vapeur de 285 psig tandis que la solution d'urée tombe à l'intérieur des tubes à contre-courant au-delà du gaz de stripping de CO<sub>2</sub> qui monte. La solution liquide de sortie du stripper est riche en urée et est dirigée vers la section aval pour la purification de l'urée.
- Dans le réacteur adiabatique à urée, R01, une solution aqueuse de NH<sub>3</sub> et de CO<sub>2</sub> (en grande partie sous forme de carbamate d'ammonium) et des vapeurs s'écoulent vers le haut à travers 8 étages de volume du réacteur pour minimiser le mélange en retour et fournir un temps de séjour suffisant pour la formation d'urée. Les gaz restants se condensent et le carbamate se décompose dans le réacteur pour fournir de la chaleur pour la réaction légèrement endothermique du carbamate en urée. La solution d'urée (S06) déborde du haut du réacteur vers le Stripper E01, tandis que les gaz n'ayant pas réagi (S05) sortent par le haut du réacteur.
- Ces gaz n'ayant pas réagi passent vers l'épurateur E03, où la solution de carbamate recyclée provenant de la section d'évaporation/recirculation (S13) passe au-dessus d'un lit garni et remplit la section latérale des tubes verticaux. Les gaz montent à travers les tubes et traversent la section garnie avant de quitter le haut de la cuve. Le contact avec la solution de carbamate absorbe le NH<sub>3</sub> et le CO<sub>2</sub> n'ayant pas réagi, tandis que les gaz inertes d'O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et autres (S15) s'échappent par le haut. Au fond, l'eau de refroidissement re-circulée circulant à l'intérieur des

tubes élimine la chaleur d'absorption de la solution de carbamate. La solution de carbamate (S17) déborde du récipient.

- La solution (S17) ainsi que le flux de vapeur supérieur du Stripper (S08) sont introduits dans le condenseur de carbamate, E02, via l'utilisation d'un éjecteur, où l'alimentation en ammoniac (S01) sert de fluide de pompage. Le carbamate d'ammonium se forme dans ce condenseur. Le mélange vapeur-liquide (S03) tombe à travers des tubes et la chaleur de réaction est évacuée par génération de vapeur de 50 psig du côté de la coque. Le mélange va au fond du réacteur pour la production d'urée.
- Le flux de fond (S09) du Stripper E01 est envoyé vers la section aval pour récupérer l'urée. Le flux recyclé après récupération de l'urée (S13) est renvoyé vers le système H.P. Scrubber pour boucler la boucle.

### IV .9 Propriétés physiques

Le modèle des propriétés thermodynamiques du système ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{UREA}$ ,  $\text{CARB}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) est basé sur le modèle SR-POLAR d'Aspen Plus (Soave, 1972 + Peneloux et Rauzy, 1982 + Schwartzenruber et Renon, 1989).

Le modèle utilise une équation d'état et convient donc aux conditions de synthèse de l'urée à haute pression et à haute température.

De plus, le modèle contient des extensions qui permettent une description précise des équilibres de phase et chimiques, de la densité et des autres propriétés thermodynamiques (par exemple, l'enthalpie) de ce système.

### IV .10 Propriétés SR-POLAR

La méthode des propriétés SR-POLAR est basée sur un modèle d'équation d'état de Schwarzenruber et Renon, qui est une extension de l'équation d'état de Redlich-Kwong-Soave. Vous pouvez appliquer la méthode SR-POLAR aux composants non polaires et hautement polaires, ainsi qu'aux mélanges hautement non idéaux. Cette méthode est recommandée pour les applications à haute température et pression.

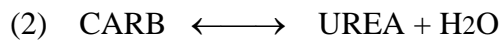
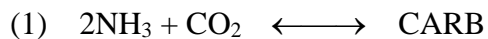
SR-POLAR nécessite :

Paramètres polaires pour les composants polaires. Ces paramètres sont déterminés automatiquement à l'aide des données de pression de vapeur générées à partir du modèle général de pression de vapeur liquide des composants purs.

Paramètres binaires pour représenter avec précision les équilibres de phases. Les paramètres binaires dépendent de la température.

### IV .11 Cinétique des réactions chimiques :

Ils existent deux principales réactions qui prend place dans la section synthèse de l'urée :



La première réaction, qui se déroule en phase liquide, convertit l'ammoniac et le dioxyde de carbone en carbamate d'ammonium. Cette réaction est hautement exothermique et rapide. L'équilibre chimique est facilement atteint dans les conditions opératoires du réacteur. La deuxième réaction a également lieu en phase liquide et est endothermique. Son rythme est lent et l'équilibre n'est généralement pas atteint dans le réacteur.

### IV .12 Control de la charge et rendement d'unité

Le procédé est contrôlé de différentes manières en termes de pression, de température et de niveau.

La plupart de ces contrôles maintiennent uniquement des conditions idéales au sein d'un équipement. Cependant, rares sont ceux qui sont capables d'influencer l'ensemble de l'installation, l'exemple le plus notable étant le contrôle de niveau dans la chaîne de traitement. Chaque élément d'équipement de la ligne de traitement dispose d'un contrôle de niveau et ce contrôle de niveau influence le débit de cet équipement spécifique en ouvrant ou en fermant une vanne. Augmenter ou diminuer le débit de sortie de l'équipement modifiera par conséquent le niveau dans l'équipement. Le débit sortant détermine le débit vers le reste du processus, ce qui en fait le contrôle qui a l'influence la plus significative sur la capacité de l'usine.

L'autre type de contrôle qui déterminera la capacité de l'usine est le contrôle du débit des flux alimentant le processus. Le contrôle du rapport sur les alimentations en dioxyde de carbone et en ammoniac affectera le débit vers le réacteur car il contrôle le débit vers le compresseur et le débit vers et depuis le récepteur d'ammoniac. Ces flux détermineront à leur tour la quantité de matières qui entrera et sortira du réacteur, de sorte que ce contrôleur pourra influencer de manière significative la capacité de la centrale.

Plus la concentration des réactifs est élevée, plus la réaction directe selon la loi de l'action de masse sera élevée. Le CO<sub>2</sub> étant le réactif limitant, un rapport NH<sub>3</sub>:CO<sub>2</sub> plus élevé favorise la conversion. Étant donné que la déshydratation du carbamate entraîne la production d'urée, un rapport H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub> plus faible favorise la conversion. L'apport d'eau au réacteur doit donc être minimal.

La température du procédé (185 °C) favorise le rendement à l'équilibre à une pression donnée (180 atm). La conversion du carbamate d'ammonium en urée augmente progressivement à

## Chapitre IV : Optimisation du procédé Stamicarbon

mesure que la température augmente. Cependant, après une température particulière, en fonction de la pression, la conversion chute soudainement avec une nouvelle augmentation de la température.

La pression correspondant à cette température, qui se situe généralement entre 175 et 185 °C, est connue sous le nom de pression de décomposition, qui est d'environ 180 atm.

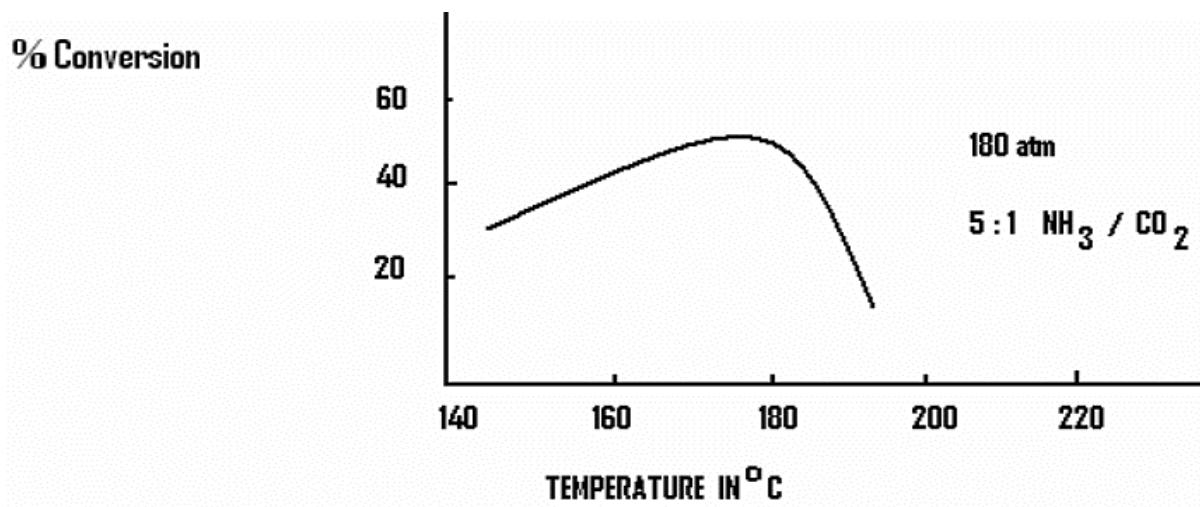


Figure IV.2. Taux de conversion en fonction de température

### IV . 13 Modélisation et Simulation de la section de synthèse de SORFERT

Le schéma représenté sur la figure IV.3 montre la section de synthèse de l'urée au niveau de Sorfert.

# Chapitre IV : Optimisation du procédé Stamicarbon

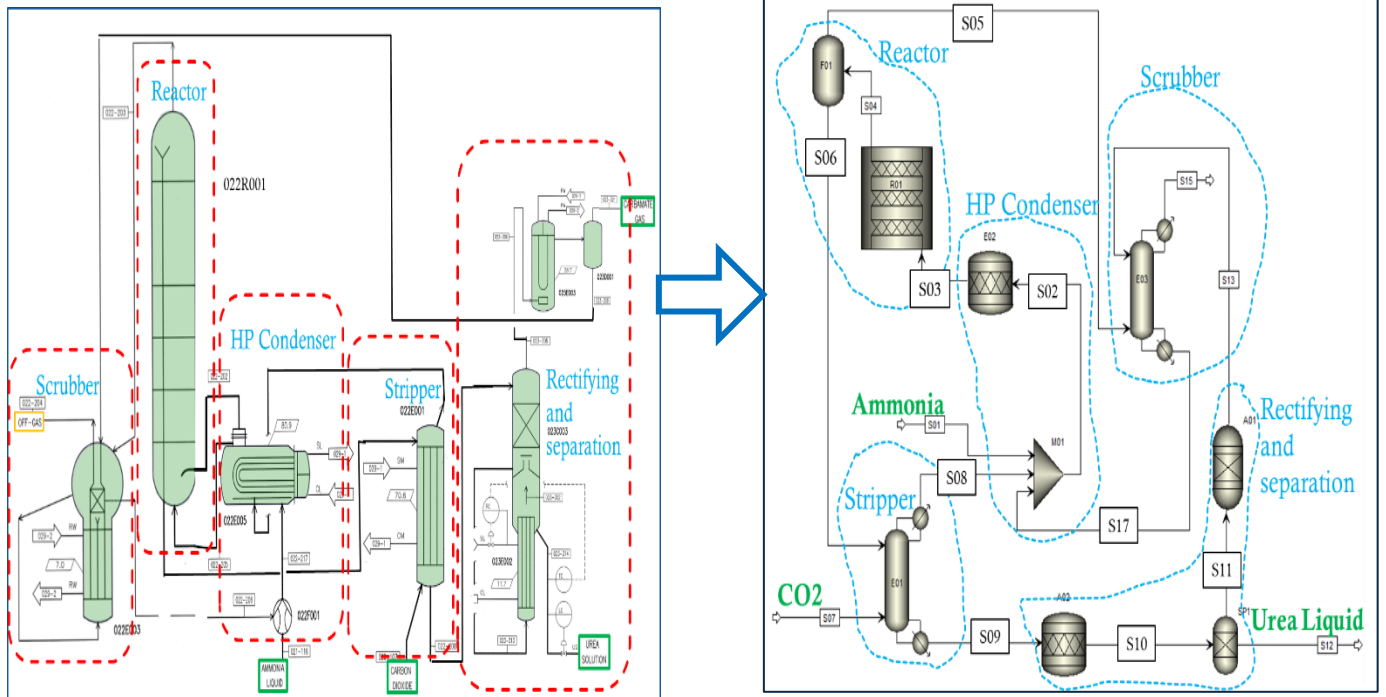
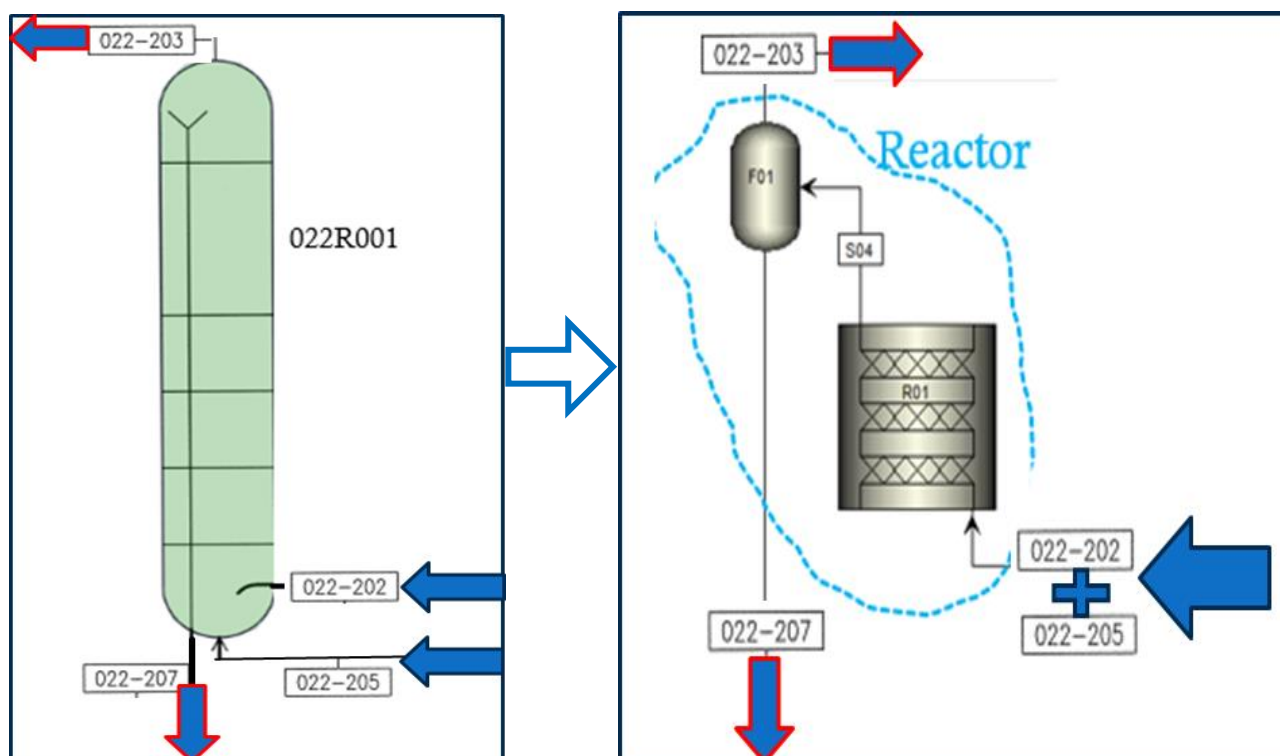


Figure IV.3. Schéma de modélisation et simulation



## IV .14 Modélisation du réacteur de l'urée :

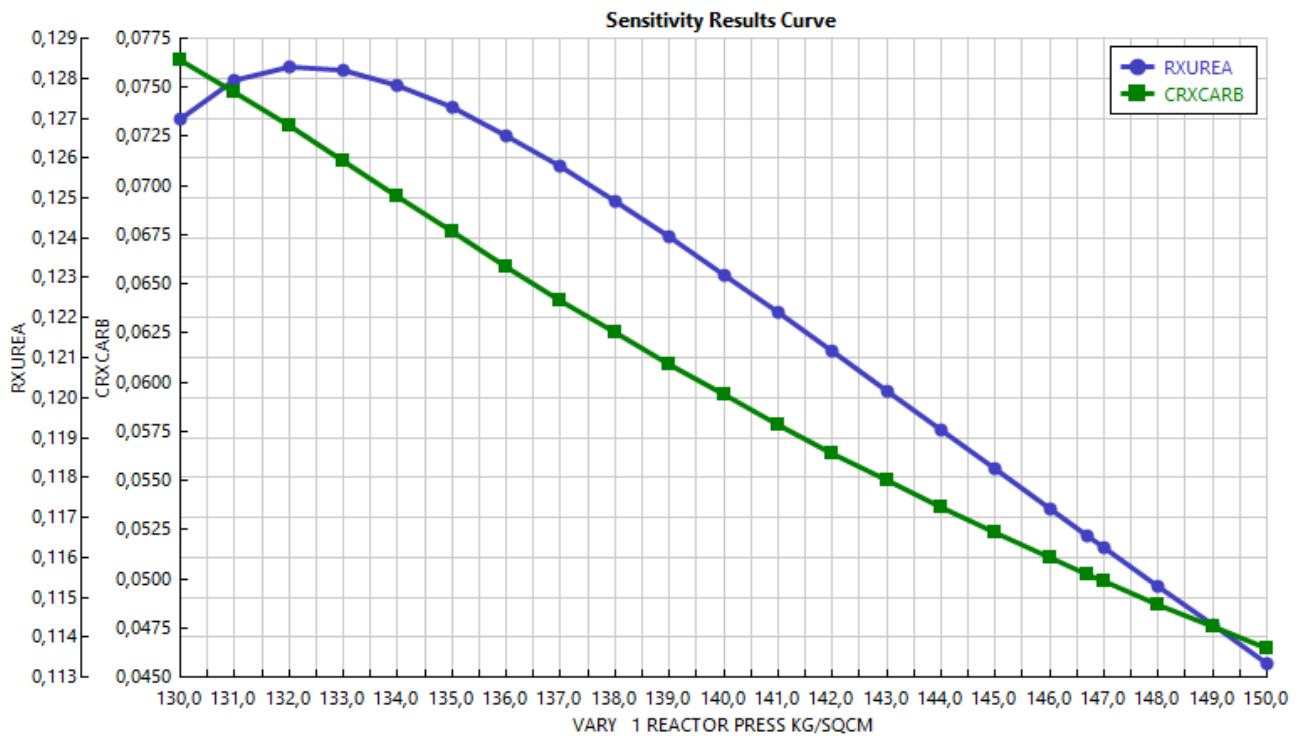
La modélisation du réacteur est faite par deux blocks, le premier est un réacteur type R-plug adiabatique, sous une phase liquide/vapeur, et par un deuxième block d'un séparateur liquide/vapeur (voir figure IV.4). Les résultats de la simulation sont regroupés dans le Tableau IV.3.



**Figure IV.4.** Schéma de modélisation et simulation du réacteur

**Tableau IV.3 :** Résultats de simulation du réacteur

Paramètres	S03	S04	S05	S06
Température (°C)	167	182.999	182.999	182.999
Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	146	146	146	146
Débit molaire (K mol /jour)	92492.1	99417.4	11188.5	88228.9
Débit massique (Kg/h)	137763	137763	11961.3	125802



**Figure IV.5 :** Evolution du débit molaire de l'urée et de carbamate en fonction de la pression.

La figure IV.5 représente l'évolution des débits molaires de l'urée et de carbamate en fonction de la pression. D'après cette figure, la décomposition de carbamate est rapide par rapport à la formation de l'urée. Les carbamates se décomposent pour donner l'urée + H<sub>2</sub>O

## IV .15 Modélisation du stripper :

Le CO<sub>2</sub> Stripper, 022E001/E01, est du type à film tombant, qui a été approché par un bloc RADFRAC (distillation à plusieurs étages) à 10 étages. De la chaleur est fournie aux étages 2 à 9 pour simuler le transfert de chaleur des tubes.

La solution d'urée, tombant sur les parois des tubes, est éliminée du NH<sub>3</sub> volatil par le gaz CO<sub>2</sub> entrant (S07). A chaque étape le modèle considère l'équilibre du carbamate dans le liquide ainsi que la VLE du mélange comme on peut le voir sur la figure IV.6. Les résultats de simulation de cet équipement sont résumés dans le tableau IV.4.

Notez que la cinétique de formation du carbamate est suffisamment grande pour garantir que l'équilibre chimique pour la réaction du carbamate est atteint à chaque étape du bloc RADFRAC.

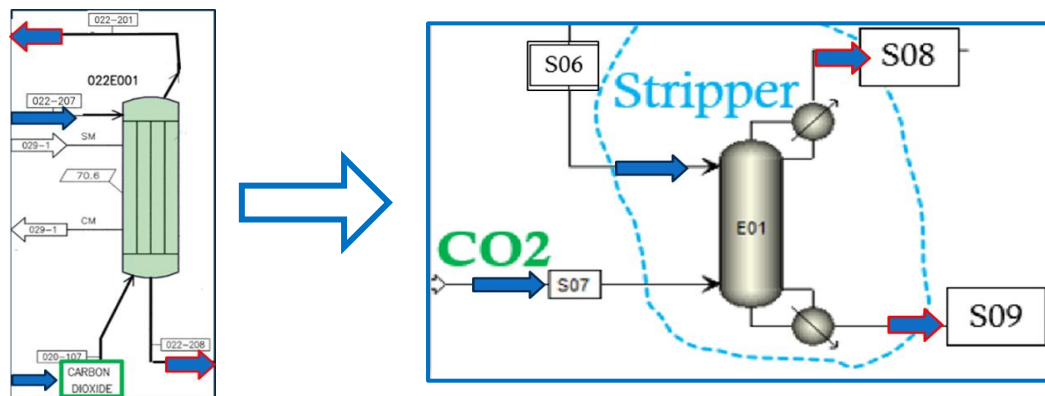
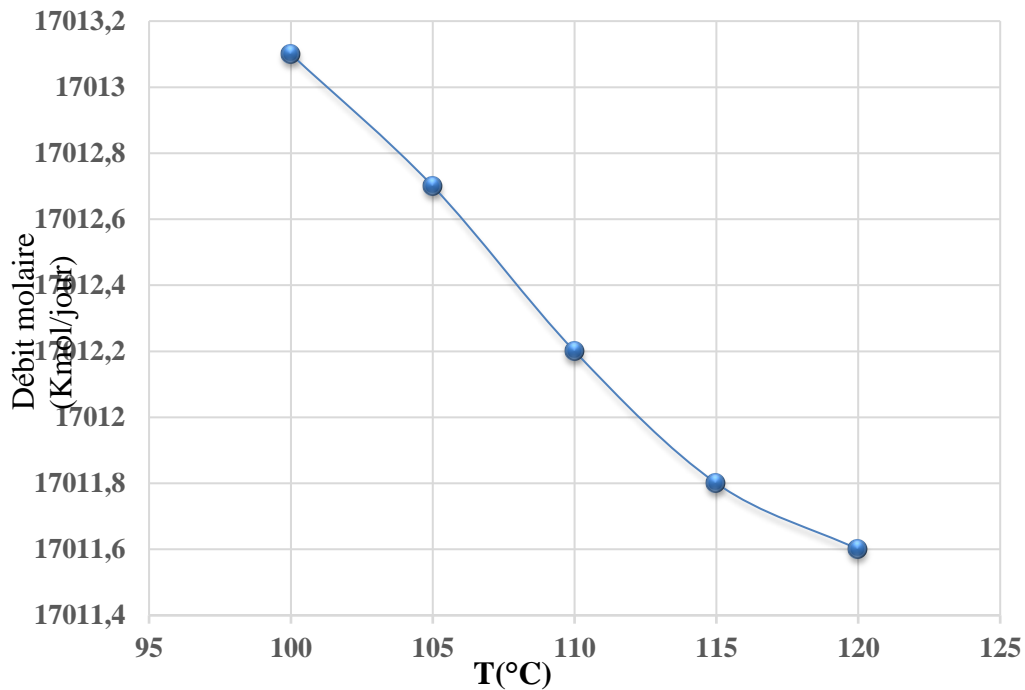


Figure IV.6 : Schéma de modélisation et simulation de stripper

Tableau IV.4 : Résultats de simulation du stripper

Paramètres	S06	S07	S08	S09
Température (°C)	182.999	100	185.57	166.318
Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	146	146	146	146
Débit molaire (K mol /jour)	88228.4	18516	72615.6	50956.4
Débit massique (Kg/h)	125801	32939.5	81400.5	77340.5



**Figure IV.7 :** Evolution du débit molaire de l'urée en fonction de la température dans le Stripper

La figure IV.7 montre l'évolution du débit molaire de l'urée en fonction de la température d'entrée de CO<sub>2</sub> dans le Stripper. D'après cette figure, la variation dans le débit molaire de l'urée est faible avec le changement de température parce que le gaz entre à une température de 100 °C à l'entrée du stripper et sort avec une température de 180°C, lorsque on augmente la température elle dépasse les conditions du processus et nous ne pouvons pas la contrôler c'est pour ça la production d'urée diminue.

## IV .16 Modélisation du Pool Condenser :

Le condenseur est modélisé avec un bloc RSTOIC. La stœchiométrie et l'étendue molaire ou la conversion sont connues pour chaque réaction. Le bloc RStoic peut modéliser des réactions se produisant simultanément ou séquentiellement. De plus, RStoic peut effectuer des calculs de sélectivité des produits et de chaleur de réaction. Le schéma de simulation est représenté sur la figure IV.8. Les résultats correspondants sont regroupés dans le tableau IV.5.

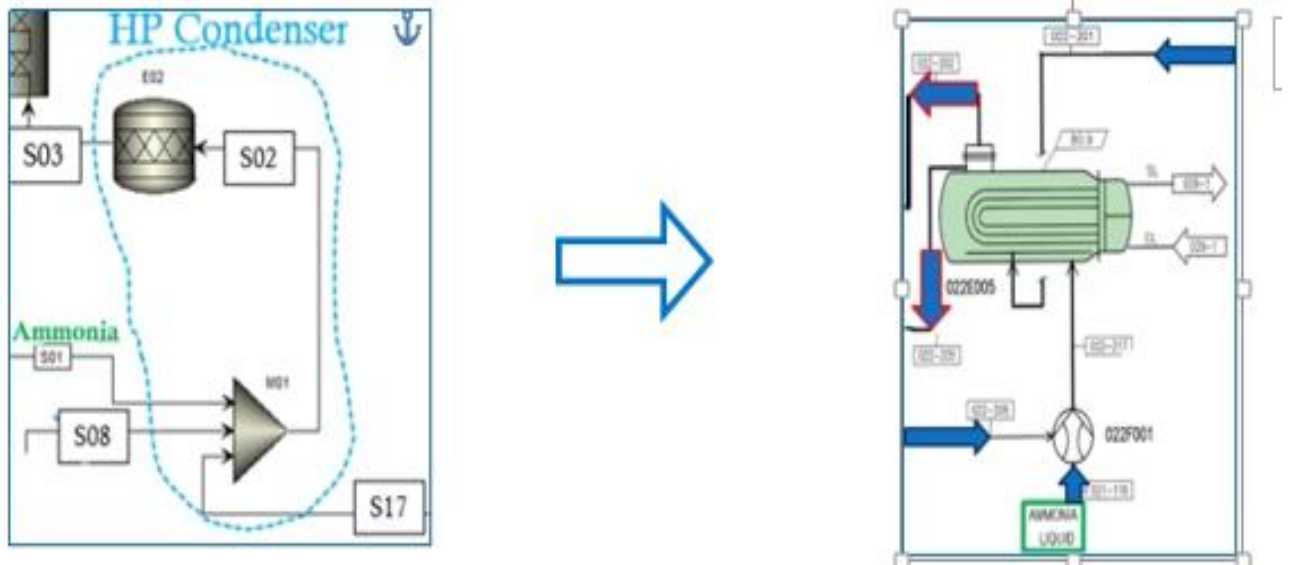
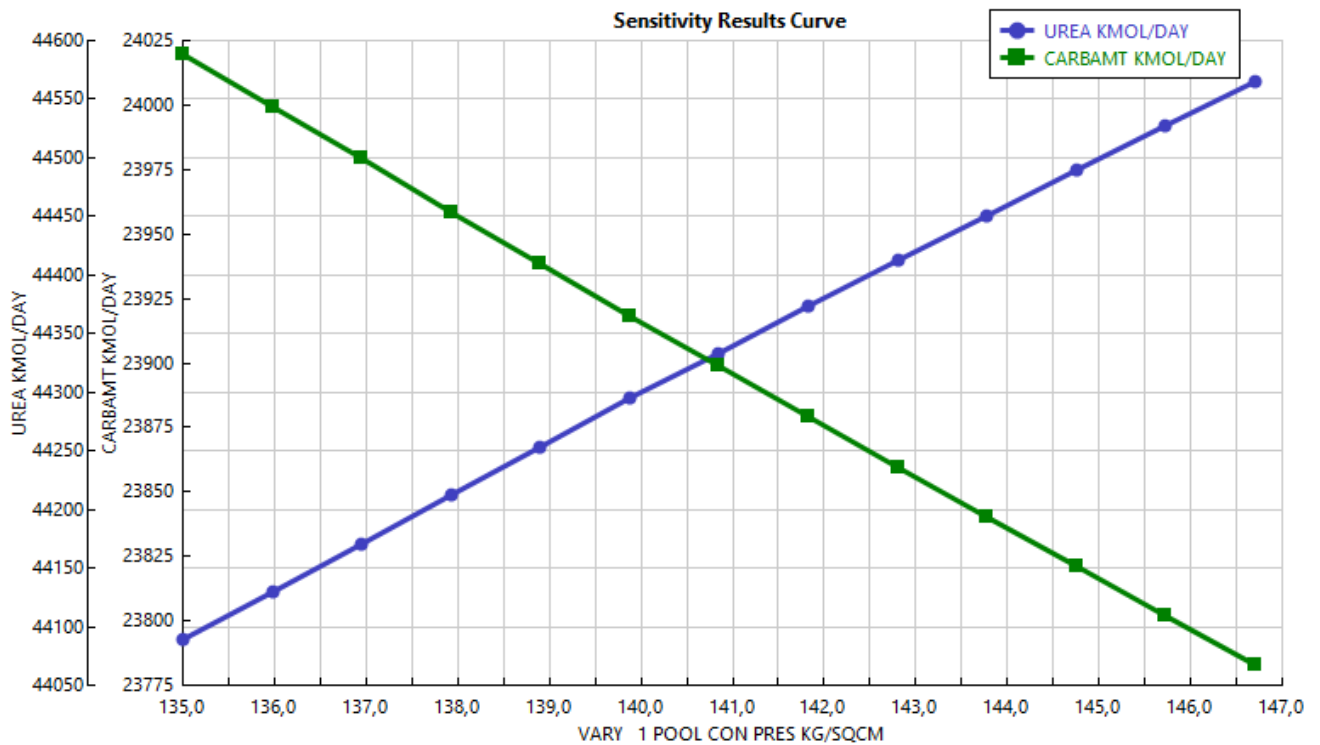


Figure IV.8 : Schéma de simulation HP condenser

Tableau IV.5 : Résultats de Simulation de HP Condenser.

Paramètres	S01	S02	S03	S08	S17
Température (°C)	34	139.192	167	185.57	137.979
Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	160	146	146	146	146
Débit molaire (K mol/jour)	34038	125888	92492.6	72615.6	19233.9
Débit massique (kg/h)	24153.6	137764	137764	81400.5	32209.3

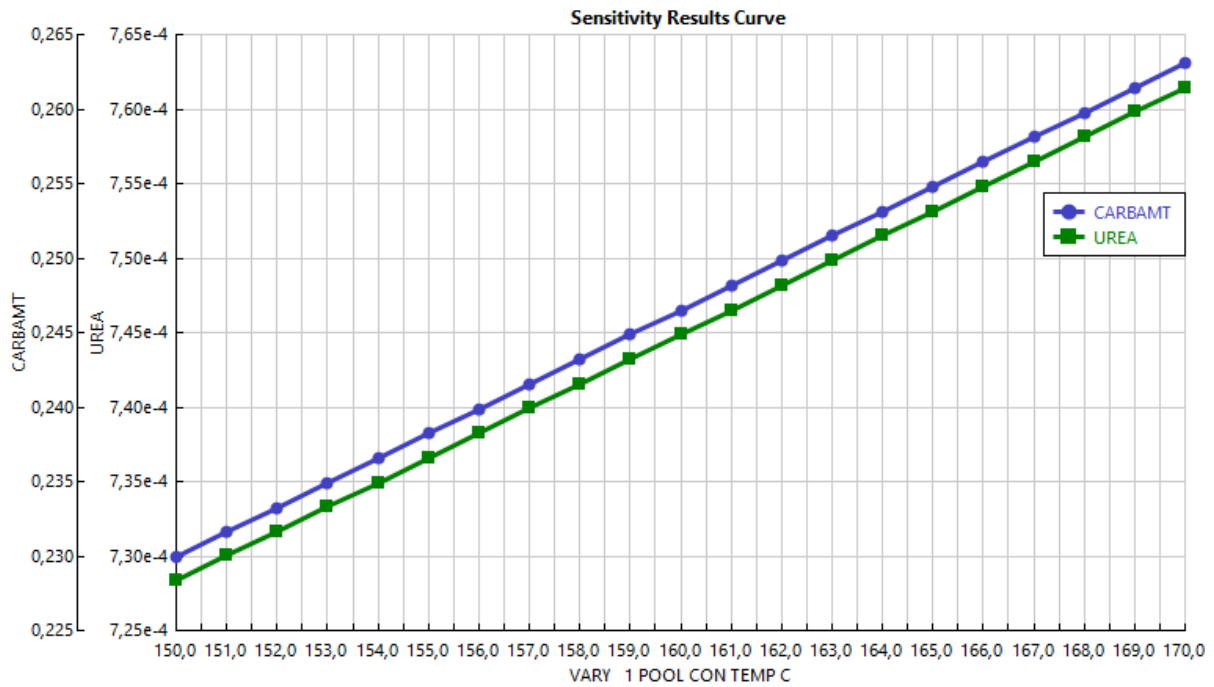
La figure IV.9 montre l'évolution de du débit de l'urée produite par jour ainsi que la quantité de carbamate produite (KMol/jour). La figure montre clairement que lors de la diminution des carbamates, la quantité de l'urée produite augmente.



**Figure IV.9 :** Evolution du débit molaire de l'urée et de carbamate en fonction de la pression dans le Pool-Condenser.

La figure IV.9 montre l'évolution de du débit de l'urée produite par jour ainsi que la quantité de carbamate produite (KMol/jour). La figure montre clairement que lors de la diminution des carbamates, la quantité de l'urée produite augmente

Nous avons étudié l'influence de la pression dans le condenseur haute pression (Pool Condenser), et les résultats obtenus nous mènent à ce que la formation d'urée est favorisée par l'augmentation de la pression tandis que la formation du carbamate diminue.



**Figure IV.10 :** Evolution du débit molaire de l'urée en fonction de la température dans le pool condenseur

La figure IV.10 montre l'évolution du débit molaire en fonction de la température dans le Pool Condenser. L'Augmentation de la température favorise les deux réactions. L'énergie produite à ce niveau est utilisé pour produire de la vapeur d'eau à basse pression.

## IV .17 Modélisation du scrubber :

Le scrubber est modélisé à l'aide d'un bloc Rad-Frac à 5 étages. La chaleur est évacuée de l'étage inférieur. Semblable au Stripper E01, à chaque étape le modèle prend en compte l'équilibre du carbamate dans le liquide ainsi que le VLE du mélange. Le schéma de modélisation du scrubber est représenté sur la figure IV.11.

Rad Frac est un modèle rigoureux pour simuler tous les types d'opérations de fractionnement vapeur-liquide à plusieurs étapes. Rad Frac peut modéliser des colonnes dans lesquelles des réactions chimiques se produisent. Les résultats de simulation du scrubber sont regroupés dans le tableau IV.6.

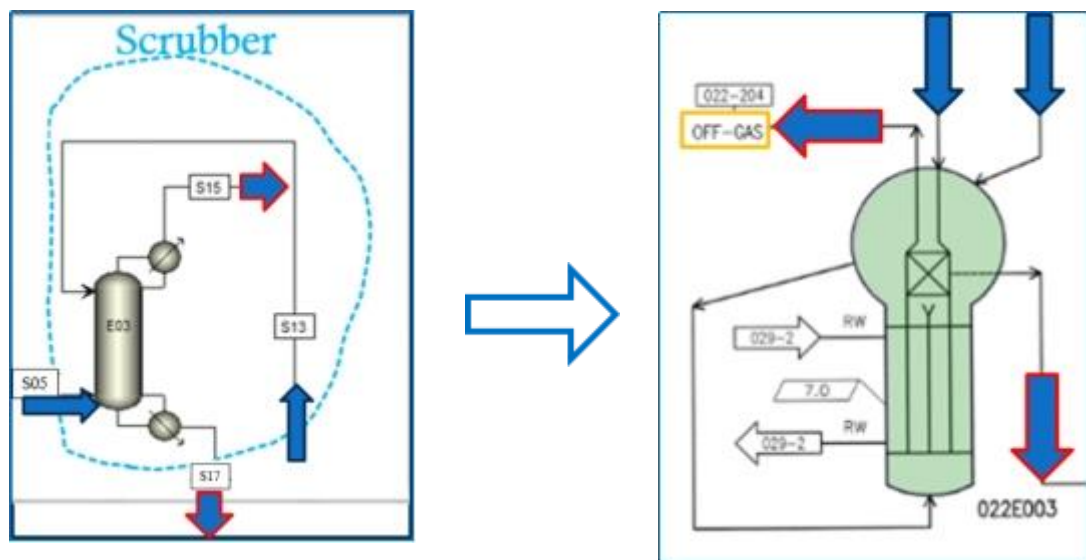


Figure IV.11 : Schéma de modélisation du scrubber

Tableau IV.6 : Résultats de simulation du scrubber

Paramètres	S05	S13	S15	S17
Température (°C)	182.999	72.4	86.4845	137.979
Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	146	146	146	146
Débit molaire (K mol/jour)	11189.3	14888.2	1325.5	19233.9
Débit massique (kg/h)	21853.6	21853.6	1606.6	32209.3

## IV .18 Analyse de sensibilité :

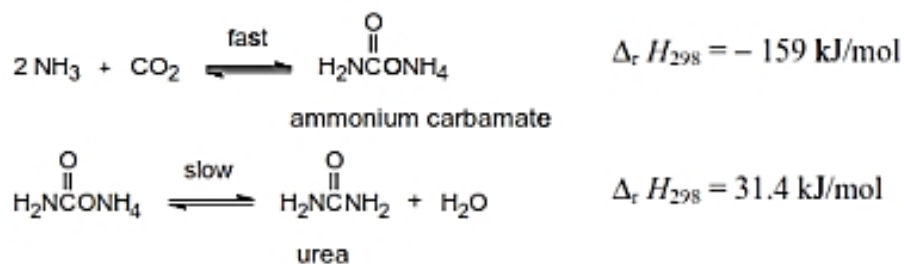
L'un des avantages d'une simulation est que vous pouvez étudier la sensibilité des performances du procédé aux changements des variables de fonctionnement. Avec Aspen Plus,



## Chapitre IV : Optimisation du procédé Stamicarbon

vous pouvez permettre aux entrées de varier et tabuler l'effet sur un ensemble de résultats de votre choix. Cette procédure est appelée analyse de sensibilité.

La formation d'urée se produit par deux réactions d'équilibre non catalysées. La première réaction, la formation de carbamate d'ammonium (liquide dans les conditions réactionnelles, solide à température et pression standards) est exothermique tandis que la seconde réaction, la déshydratation du carbamate, est endothermique. Étant donné que la première réaction produit plus de chaleur qu'elle n'en consomme lors de la seconde réaction, la réaction globale est exothermique.



## Conclusion générale

Dans le présent travail, l'ensemble de la section de synthèse de l'urée basée sur le procédé Stamicarbon (comprenant le réacteur à urée, le condenseur de carbamate, le stripper et le scrubber) est modélisé. L'urée est l'un des produits chimiques les plus importants et les plus largement produits au monde. La production d'urée consiste en deux réactions. Dans la première réaction, l'ammoniac et le dioxyde de carbone réagissent pour former du carbamate d'ammonium qui se décompose en urée et en eau dans l'étape suivante.

L'optimisation du procédé Stamicarbon pour la production d'urée a des implications significatives pour l'industrie des engrais.

Lors de cette étude, le modèle de simulation pour l'unité de synthèse de l'urée du complexe Sorfert a été développé dans le simulateur Aspen Plus. Les réactions de formation de l'urée et de décomposition de carbamate dans les équipements physiques intégrés dans Aspen Plus, tels que le condenser et le stripper, ont été traitées en utilisant la combinaison des réacteurs stœchiométrique. Le modèle thermodynamique SR-POLAR a été utilisé pour représenter correctement le comportement des composants polaires et ioniques présents dans le mélange réactionnel à haute pression et pour le calcul des équilibres de phases et chimiques dans la synthèse.

Le procédé Stamicarbon a été optimisé pour réduire la consommation d'énergie, ce qui se traduit par une réduction des coûts opérationnels. Des innovations telles que l'utilisation de technologies de récupération de chaleur et l'amélioration des cycles de réaction permettent d'atteindre une meilleure efficacité énergétique.

Le modèle de simulation de l'unité de synthèse de l'urée du complexe Sorfert a été développé dans le simulateur Aspen Plus. Les réactions de formation de l'urée et de décomposition de carbamate dans les équipements physiques intégrés dans Aspen Plus, tels que le condenseur et le strippeur, ont été traitées en utilisant la combinaison des réacteurs stœchiométrique et piston. Le modèle thermodynamique SR-POLAR a été utilisé pour représenter correctement le comportement des composants polaires et ioniques présents dans le mélange réactionnel à haute pression et pour le calcul des équilibres de phases et chimiques dans la synthèse.

## Conclusion générale

Les résultats de simulation obtenus ont été comparés aux données de design actuelles de l'usine. La simulation de l'unité de synthèse de l'urée fonctionnant selon le procédé de stripage au CO<sub>2</sub> a été réalisée avec une bonne cohérence entre les résultats de la simulation et les données de design de l'usine.

L'étude de performance de procédé de synthèse de l'urée a été faite en examinant les effets des paramètres influençant sur la formation de l'urée en utilisant les données actuelles de l'unité de synthèse de l'urée du complexe Sorfert. L'analyse de sensibilité de ces paramètres tels que le rapport la température et la pression sur les taux de conversion de CO<sub>2</sub> et d'ammoniac, la concentration massique d'urée dans la solution d'urée sortant du réacteur de synthèse et l'efficacité de stripper nous a permis de conclure que :

Une température élevée d'entrée de pool condenseur favorise la réaction de conversion de carbamate en urée car la quantité d'urée augmente de près de 19 % en augmentant la température jusqu'à 170°C, et aussi la quantité de carbamate consommée dans la réaction de conversion de carbamate en urée augmente à cette température :

- La variation de la température influe sur les quantités d'urée produites à partir des deux réactions de conversion de carbamate et conversion de CO<sub>2</sub> et ammoniac.
- L'étude des profils de compositions nous a permis de voir de façon plus claire l'évolution des concentrations des réactifs et de produits (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, carbamate et l'urée) et de déterminer la réaction qui participe principalement dans la formation de l'urée.
- Les meilleures conditions de fonctionnement du procédé de synthèse de l'urée qui donnent un rendement maximal en urée dans le pool condenseur correspondent à une température de 170°C et une pression de 147 bars.

### Recommandations

1. La simulation du procédé de synthèse de l'urée permet le suivi en temps réel et les contrôles automatisés réduisent les risques d'accidents et de défaillances.
2. La simulation du procédé de synthèse de l'urée fournit des informations sur les technologies de pointe et les innovations dans le procédé de synthèse de l'urée.

# Conclusion générale

## Références bibliographiques

1. N. Radjah, Etude du laveur 022E003 de la boucle de synthèse de l'urée au niveau du complexe Sorfert d'Arzew, mémoire de master en génie des procédés, Université de Mostaganem, 2019.
2. <https://www.stamicarbon.com/>

N. Radjah, Etude du laveur 022E003 de la boucle de synthèse de l'urée au niveau du complexe Sorfert d'Arzew, mémoire de master en génie des procédés, Université de Mostaganem, 2019.

[2] <https://www.stamicarbon.com/>

[3] Documents internes de Sorfert.

[4] Manuel opératoire unité de déminéralisation du complexe Sorfert, engineering UHDE

[5] Nomenclature of inorganic chemistry IUPAC recommendations, 2005, 1-341.

[6] Bhaskar D. and Chandra P., Manufacture of urea. Thesis for the degree of bachelor of technology in Chemical Engineering, Rourkela, 2007, 1-86.

[7] Coleman GR, chapitre 9: Urea, Fertilizer manual IDCF/UNIDO, 1979, 256-270.

[8] Neil G. Rischard M. Ture D. and Alan T. Nomenclature of Inorganic chemistry IUPAC recommendation .2005, 1-341 Société Chimique de France - 2024

[9] UREE [archive], [Fiches internationales de sécurité chimique](#) .

[10] Chauhan M., Urea project rapport, M.S university, Baroda, 8-103.

Top cMeessen J. , Urea synthesis, chimie ingénieur technicien, 2014, 2180-2190

[11] sorfert complexe fertilisant manuel de la formation

[12] Countries for urea Fertilizer production, Nation Master. [En ligne visité le 9 juillet 2021

[13] <https://www.nationmaster.com/nmx/ranking/urea-fertilizer-production>.

[14] urea -monthly prices, index mundi. [En ligne visité le 9 juillet 2021.]

[15] <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=urea>.

[16] SORFERT PROCESS TRAINING March 2011 Process Description

[17] Manuel des spécifications technologique Hp pool condenser du complexe Sorfert, SO- UD-S103.00001

[18] Manuel des spécifications technologique reactor du complexe Sorfert, SO-UD-S103.00010.

## Conclusion générale

---

[19] Manuel des spécifications technologique Hp heat exchanger du complexe Sorfert, SO- UD-S103.00008.

[20] Manuel des spécifications technologique Hp scrubber du complexe Sorfert, SO-UD-S103.00009.

3. R. O. Guzmán, A. B. Lazo, Simulation of a reactor considering the Stamicarbon, Snamprogetti, and Toyo patents for obtaining urea, *Journal of Open Chemistry*, 20: 424–430, **2022**.
4. L. Matijašević, I. Dejanović, H. Lisac, Treatment of wastewater generated by urea production, *Resources, Conservation and Recycling*, 54(3), 149-154, **2010**.
5. M. Hamidipour, N. Mostoufi, R. Sotudeh-Gharebagh, Modeling the synthesis section of an industrial urea plant, *Chemical Engineering Journal*, 106(3), 249-260, **2005**.
6. A. Edrisi, Z. Mansoori, B. Dabir, Urea synthesis using chemical looping process – Techno-economic evaluation of a novel plant configuration for a green production, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 44, 42-51, **2016**.
7. E. Koohestanian, J. Sadeghi, D. Mohebbi-Kalhari, F. Shahraki, A. Samimi, A novel process for CO<sub>2</sub> capture from the flue gases to produce urea and ammonia, *Energy*, 144, 279-285, **2018**.
8. R. Shirmohammadi, A. Aslani, E. Batuecas, R. Ghasempour, L.M. Romeo, F. Petrakopoulou, A comparative life cycle assessment for solar integration in CO<sub>2</sub> capture utilized in a downstream urea synthesis plant, *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 74, 102534, **2023**.
9. X. Zhang, S. Zhang, P. Yao, Y. Yuan, Modeling and simulation of high-pressure urea synthesis loop, *Computers & Chemical Engineering*, 29, 983-992, **2005**.
10. L Vandebroek, F Verplaetsen, J Berghmans, A van den Aarssen, H Winter, G Vliegen, E van't Oost, Auto-ignition hazard of mixtures of ammonia, hydrogen, methane and air in a urea plant, *Journal of Hazardous Materials*, 93, 123-136, **2002**.
11. S. K. Masjedi, A. Kazemi, M. Moeinnadini, E. Khaki, S. I. Olsen, Urea production: An absolute environmental sustainability assessment, *Science of The Total Environment*, 908, 168225, **2024**.
12. A.K.M. Abdul Quader, Natural gas and the fertilizer industry, *Energy for Sustainable Development*, 7(2), 40-48, **2003**.
13. G. Cinti, U. Desideri, SOFC fuelled with reformed urea, *Applied Energy*, 154, 242-253, **2015**.

## Annexe

## Résultats de simulation du réacteur

	Units	S03	S04
Description			
From		E02	R01
To		R01	F01
Stream Class		CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error			
Cost Flow	\$/hr		
<b>- MIXED Substream</b>			
Phase			
Temperature	C	167	182.999
Pressure	kg/sqcm	146	146
Molar Vapor Fraction		0.381066	0.11254
Molar Liquid Fraction		0.618934	0.88746
Molar Solid Fraction		0	0
Mass Vapor Fraction		0.254939	0.0868247
Mass Liquid Fraction		0.745061	0.913175
Mass Solid Fraction		0	0
Molar Enthalpy	cal/mol	-62234	-57898.9
Mass Enthalpy	cal/gm	-1740.95	-1740.96
Molar Entropy	cal/mol-K	-56.1993	-51.7567
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.57214	-1.55627
Molar Density	mol/cc	0.0106692	0.0179165
Mass Density	gm/cc	0.381391	0.595845
Enthalpy Flow	MMkcal/hr	-239.84	-239.84
Average MW		35.7471	33.2569
<b>+ Mole Flows</b>	<b>kmol/day</b>	<b>92492.1</b>	<b>99417.4</b>
<b>+ Mole Fractions</b>			
<b>+ Mass Flows</b>	<b>kg/hr</b>	<b>137763</b>	<b>137763</b>
<b>+ Mass Fractions</b>			
Volume Flow	l/min	6020.21	3853.43

# Annexe

## Résultats de simulation du stripper

	Units	S06	S07	S08
Description				
From		F01		E01
To		E01	E01	M01
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CON
Maximum Relative Error				
Cost Flow	\$/hr			
<b>- MIXED Substream</b>				
Phase		Liquid Phase	Vapor Phase	Vapo
Temperature	C	182.999	100	
Pressure	kg/sqcm	146	146	
Molar Vapor Fraction		0	1	
Molar Liquid Fraction		1	0	
Molar Solid Fraction		0	0	
Mass Vapor Fraction		0	1	
Mass Liquid Fraction		1	0	
Mass Solid Fraction		0	0	
Molar Enthalpy	cal/mol	-60993.7	-87611.5	
Mass Enthalpy	cal/gm	-1782.36	-2052.01	
Molar Entropy	cal/mol-K	-55.8778	-8.75262	
Mass Entropy	cal/gm-K	-1.63287	-0.205001	
Molar Density	mol/cc	0.0276439	0.00631388	
Mass Density	gm/cc	0.945994	0.269574	
Enthalpy Flow	MMkcal/hr	-224.224	-67.5923	
Average MW		34.2207	42.6954	
<b>+ Mole Flows</b>	<b>kmol/day</b>	<b>88228.4</b>	<b>18516</b>	
<b>+ Mole Fractions</b>				
<b>+ Mass Flows</b>	<b>kg/hr</b>	<b>125801</b>	<b>32939.5</b>	
<b>+ Mass Fractions</b>				
Volume Flow	l/min	2216.39	2036.52	



# Annexe

## Résultats de simulation du condenser

	Units	S01	S02	S03	S08	S17
Description						
From			M01	E02	E01	E03
To		M01	E02	R01	M01	M01
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error			2.4068e-05			
Cost Flow	\$/hr					
<b>- MIXED Substream</b>						
Phase		Liquid Phase			Vapor Phase	Liquid Phase
Temperature	C	34	139.192	167	185.57	137.979
Pressure	kg/sqcm	160	146	146	146	146
Molar Vapor Fraction		0	0.660316	0.381073	1	0
Molar Liquid Fraction		1	0.339684	0.618927	0	1
Molar Solid Fraction		0	0	0	0	0
Mass Vapor Fraction		0	0.634123	0.254946	1	0
Mass Liquid Fraction		1	0.365877	0.745054	0	1
Mass Solid Fraction		0	0	0	0	0
Molar Enthalpy	cal/mol	-15807.7	-42323.6	-62234.3	-41634.1	-91850
Mass Enthalpy	cal/gm	-928.195	-1611.46	-1740.96	-1547.54	-2285.36
Molar Entropy	cal/mol-K	-44.641	-33.808	-56.1989	-19.9315	-71.2725
Mass Entropy	cal/gm-K	-2.62123	-1.28723	-1.57212	-0.740851	-1.77336
Molar Density	mol/cc	0.0343399	0.0101103	0.010669	0.00495994	0.0275821
Mass Density	gm/cc	0.584828	0.265538	0.381387	0.13344	1.10854
Enthalpy Flow	MMkcal/hr	-22.4192	-222.001	-239.842	-125.97	-73.6098
Average MW		17.0306	26.2642	35.7471	26.9035	40.1906
<b>+</b> Mole Flows	<b>kmol/day</b>	<b>34038</b>	<b>125888</b>	<b>92492.6</b>	<b>72615.6</b>	<b>19233.9</b>
<b>+</b> Mole Fractions						
<b>+</b> Mass Flows	<b>kg/hr</b>	<b>24153.6</b>	<b>137764</b>	<b>137764</b>	<b>81400.5</b>	<b>32209.3</b>
<b>+</b> Mass Fractions						
Volume Flow	l/min	688.339	8646.86	6020.32	10167	484.26

# Annexe

## Résultats de simulation du scrubber

	Units	S01	S02	S03	S04
Description					
From			M01	E02	E01
To		M01	E02	R01	M02
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Maximum Relative Error			2.4068e-05		
Cost Flow	\$/hr				
<b>- MIXED Substream</b>					
Phase		Liquid Phase			
Temperature	C	34	139.192	167	
Pressure	kg/sqcm	160	146	146	
Molar Vapor Fraction		0	0.660316	0.381073	
Molar Liquid Fraction		1	0.339684	0.618927	
Molar Solid Fraction		0	0	0	
Mass Vapor Fraction		0	0.634123	0.254946	
Mass Liquid Fraction		1	0.365877	0.745054	
Mass Solid Fraction		0	0	0	
Molar Enthalpy	cal/mol	-15807.7	-42323.6	-62234.3	
Mass Enthalpy	cal/gm	-928.195	-1611.46	-1740.96	
Molar Entropy	cal/mol-K	-44.641	-33.808	-56.1989	
Mass Entropy	cal/gm-K	-2.62123	-1.28723	-1.57212	
Molar Density	mol/cc	0.0343399	0.0101103	0.010669	
Mass Density	gm/cc	0.584828	0.265538	0.381387	
Enthalpy Flow	MMkcal/hr	-22.4192	-222.001	-239.842	
Average MW		17.0306	26.2642	35.7471	
<b>+</b> Mole Flows	<b>kmol/day</b>	<b>34038</b>	<b>125888</b>	<b>92492.6</b>	
<b>+</b> Mole Fractions					
<b>+</b> Mass Flows	<b>kg/hr</b>	<b>24153.6</b>	<b>137764</b>	<b>137764</b>	
<b>+</b> Mass Fractions					
Volume Flow	l/min	688.339	8646.86	6020.32	