

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés d'environnement

THÈME

**Étude et évaluation des performances du décomposeur 022E001 au
niveau de l'unité de production d'urée du complexe SORFERT**

Présenté par

- 1- FACI BESMA
- 2- GUERRAOUI HAFSA BOUCHERA

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

Président :	BOUBEGRA NAIMA	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	SEFIR YAMINA	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	TERKHI. S	Pr	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, le courage et l'énergie nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreuse, Mme Terkhi Sabrina, professeure à l'Université de Mostaganem, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, son soutien et tous les efforts qu'elle a déployés tout au long de cette période.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants du département de Génie des Procédés de l'Université de Mostaganem pour la qualité de leur enseignement et leur accompagnement. Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury : Mme Boubagra Naïma, Maître de Conférences A à l'Université de Mostaganem, présidente du jury, ainsi que Mme Sefri Yamina, Maître de Conférences A, qui nous ont fait l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons aussi à remercier les employés du Complexe Sorfert pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité, leurs encouragements et les informations précieuses qu'ils nous ont fournies durant notre période de stage.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents, à nos proches et à nos amis, qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

Avec tout mon respect et ma gratitude, je dédie l'obtention de mon diplôme et ma joie à mon paradis, ma lune et le fil d'espoir qui éclaire mon chemin : ma mère. À la source de ma vie et à mon soutien indéfectible, qui a toujours été à mes côtés, m'encourageant et me soutenant : mon père, mon prince. À la source de ma joie, de mon bonheur, de mon amour et de ma tendresse : ma grand-mère. À mes frères, Mohamed El-Bachir, AlaaEl-Din et Chahin, pour l'amour et l'affection qu'ils m'ont toujours témoignés. À ma chère petite sœur, Iman, qui sait toujours illuminer le cœur de toute la famille. À ceux qui ont partagé avec moi les difficultés de mes études ainsi que la joie de l'obtention de mon diplôme. Je n'oublie pas ma partenaire, Hafsa, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet. Enfin, à toute ma famille, Faci et Chahed, sans exception. À vous tous, j'adresse mes plus sincères remerciements et ma profonde reconnaissance.

Besma



Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout-Puissant, le Très Miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail :

À mon cher père, Abdelhamid, pour tous les sacrifices qu'il a consentis, son soutien indéfectible, ses conseils précieux et sa confiance en moi. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon immense respect.

À ma très chère mère, Mimouna Sahraoui, source d'amour, de tendresse et de courage. Merci pour tes prières, ton affection et ton soutien constant tout au long de mon parcours.

À ma grand-mère bien-aimée, Fatma Yah, pour son amour, sa bienveillance et ses prières qui m'ont toujours accompagnée. À mes chers frères, Mohammed et Youcef, pour leur présence, leurs encouragements et leur soutien.

À ma chère sœur, Ismhane, pour son affection, sa compréhension et son appui précieux. À ma chère amie, Drar Inès, en témoignage de notre sincère amitié, pour son soutien, ses encouragements et tous les moments partagés. À tous ceux qui m'ont aidée, soutenue et encouragée de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire. Je dédie ce travail avec amour, respect et reconnaissance.

Hafsa Bouchera

ملخص

سمحت هذه الدراسة الخاصة بالمفكك عالي الضغط HP 022E001 في وحدة إنتاج اليوريا التابعة لمركب SORFERT بتقييم أدائه الفعلي والتحقق من مطابقته لشروط التصميم. وقد أكدت النتائج المتحصل عليها فعالية المفكك في تفكيك كربامات الأمونيوم واسترجاع كل من الأمونيا (NH_3) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموجهين لإعادة التدوير داخل العملية الإنتاجية. وأظهرت المقارنة بين البيانات الفعلية وبيانات التصميم وجود فروقات تشغيلية طفيفة، مما يدل على الاستقرار الجيد في تشغيل المعدة. بالإضافة إلى ذلك، فإن المردود الفعلي للمحلل البالغ 77% قريب جداً من مردود التصميم المقدر بـ 78%، وهو ما يعكس أداءً مرضياً وتشغيلاً أمثل. وفي الختام، فإن المفكك HP 022E001 يوجد في حالة تشغيل جيدة ويساهم بفعالية في تحسين المردود الإجمالي لعملية إنتاج اليوريا داخل مركب SORFERT.

الكلمات المفتاحية: المفكك عالي الضغط (HP)، اليوريا، الأمونيا (NH_3)، المردود، الميزان الكتلي، SORFERT.

Abstract

. This study of the high-pressure decomposer HP 022E001 in the SORFERT urea unit made it possible to evaluate its actual performance and verify its compliance with design conditions. The obtained results confirmed the effectiveness of the decomposer in the decomposition of ammonium carbamate and in the recovery of ammonia and carbon dioxide for recycling. The comparison between actual operating data and design data revealed only minor deviations, indicating good operational stability of the equipment. Furthermore, the actual efficiency of the decomposer, 77%, is very close to the design efficiency of 78%, reflecting satisfactory performance and operation in accordance with design expectations. In conclusion, the HP 022E001 decomposer is operating under good conditions and contributes effectively to improving the overall efficiency of the urea production process within the SORFERT complex.

Keywords: High-Pressure Decomposer (HP), Urea, Ammonia (NH_3), Efficiency, Mass Balance, SORFERT.

Résumé

Cette étude du décomposeur haute pression HP 022E001 de l'unité d'urée SORFERT a permis d'évaluer ses performances réelles et de vérifier sa conformité aux conditions de conception. Les résultats obtenus confirment l'efficacité du décomposeur dans la décomposition du carbamate d'ammonium ainsi que dans la récupération de l'ammoniac et du dioxyde de carbone destinés au recyclage. La comparaison entre les données réelles et les données de conception a révélé de faibles écarts de fonctionnement, témoignant d'une bonne stabilité opérationnelle de l'équipement. De plus, le rendement réel du décomposeur, égal à 77 %, est très proche du rendement de conception de 78 %, ce qui traduit une performance satisfaisante et un fonctionnement conforme aux attentes. En conclusion, le décomposeur HP 022E001 est en bon état de fonctionnement et contribue efficacement à l'amélioration du rendement global du procédé de production d'urée au sein du complexe SORFERT

Mots-clés : Décomposeur haute pression (HP), Urée, Ammoniac (NH_3), Rendement, Bilan massique, SORFERT

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Localisation de la zone industrielle d'Arzew.....	4
Figure I.2. Les Principales zones du complexe.....	7
Figure I.3. L'unité de dessalement par Osmose Inverse.....	10
Figure I.4. L'unité de dessalement par thermo-compresseur.....	10
Figure I.5. L'unité de déminéralisation.....	11
Figure. II.1. Synthèse d'ammoniac.....	14
Figure II.2. Pharmacien Hilaire Marin ROUELLE.....	15
Figure. II.3 : Synthèse l'urée.....	25
Figure. II. 4: La boucle de synthèse d'urée (STAMICARBON).....	28
Figure. III.1. Le décomposeur HP 022E001.....	35
Figure. III.2. Procédé de décomposition au CO ₂ STAMICARBON.....	36
Figure III.3. Décomposition de la solution de synthèse d'urée avecCO ₂	37
Figure.III.4. Étage d'équilibre théorique dans le décomposeur HP.....	38
Figure.III.4. Une coupe intérieure dans le décomposeur de synthèse.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Fiche technique du complexe.....	5
Tableau I.2. La composition du GN utilisé comme charge.....	6
Tableau II.1. les propriétés de l'urée.....	23
Tableau III.1. Les compositions massiques des entrants et des sortants du décomposeur (design /actuel).....	42
Tableau III.2. Analyse de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP...44	
Tableau III.3. Analyse du courant gazeux de CO ₂ et de carbamate à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.....	44
Tableau III.4. Récapitulation des résultats.....	45
Tableau III.5. Analyse de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP...46	
Tableau III.6. Analyse du courant gazeux à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.....	47
Tableau III.7. Récapitulation des résultats.....	48
Tableau III.8. Comparaison entre le débit massique entrant et sortant.....	49
Tableau III.9. Comparaison entre le débit de l'urée et de biuret entrant et sortant.....	49

Liste des abréviations

SORFERT : Sonatrach Orascom Fertiliser

RTO : Région de transport ouest

MDEA : Méthyle di-Ethanol Amine

HP : Haute Pression

MP : Moyenne Pression

BP : Basse Pression

HT : Haute Température

MT : Moyenne Température

BT : Basse Température

E : Échangeur

B : Four

C : Colonne

K : Compresseur

F : Séparateur

CO₂ : Dioxyde de carbone

CO : Monoxyde de carbone

H₂ : Hydrogène

NH₃ : Ammoniac

H₂O : L'eau

T : Température (°C)

Bars : unité de pression

XV : Vanne

μm : Micromètre

R : Réacteur

K : Refroidisseur

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Listedesfigures.....	VI
Listedestableau.....	VII
Abréviation.....	VIII
Introduction générale.....	1
Chapitre I.	3
Présentation du complexe SORFERT	3
I.1.Introduction.....	4
I.4. Les installationsduComplexe	5
I.5.1. Les matières premières.....	6
I.5.2. Les produits finis.....	7
I.6. Les principales zones du complexe	7
I.6.1. Description dutrain d’ammoniac.....	7
I.6.2. Description dutrain d’urée.....	8
I.6.3. Description des utilités.....	8
I.6.4. Stockage et chargement.....	11
Chapitre II.....	12
Généralité sur l’ammoniac et l’urée	12
II.1. Introduction	13
II.2. Définition d’ammoniac.....	13
II.3. La synthèse d’ammoniac.....	13
II.4. Unité d'ammoniac	14

II.4.1. Élimination de l'hélium et du mercure (Unité 000)	14
II.4.2. Désulfuration et compression du gaz naturel (Unité 101)	15
II.4.3. Compression de l'air industriel (Unité 102)	15
II.4.4. Reformage à la vapeur et récupération de chaleur (Unité 103)	15
II.4.5. Chambre de combustion et rampe de convection	16
II.4.6. Conversion du CO (Unité 104)	16
II.4.7. Élimination du CO₂ (Unité 105)	17
II.4.8. Méthanisation (Unité 106)	17
La méthanisation vise à éliminer les dernières traces de CO et CO₂ , contaminants dangereux pour le catalyseur de synthèse d'ammoniac. Le gaz converti est chauffé (~300 °C) et envoyé dans le réacteur de méthanisation. La réaction est exothermique, ce qui augmente la température du gaz à l'intérieur du réacteur. Le gaz chaud est ensuite refroidi dans un échangeur gaz/gaz puis dans un refroidisseur à eau. Le gaz obtenu respecte la spécification du gaz de synthèse et est envoyé vers l'aspiration du compresseur (unité 107)......	
II.4.9. Compression de gaz de synthèse (Unité 107)	17
II.4.10. Synthèse d'ammoniac (Unité 108)	17
II.4.11. Réfrigération (Unité 109)	18
II.4.12. Récupération d'ammoniac (Unité 110)	19
II.4.13. Récupération du gaz de purge (Unité 111)	19
II.3.14. Fonctionnement du décomposeur de condensat (Unité 180)	19
II.5. Généralités sur l'urée	20
II.5.1. Historique	20
II.5.2 Production de l'urée	21
II.5.2.2. Les réactions secondaires :	21
II.5.3. Les paramètres qui influent sur la réaction de production d'urée	22
II.5.4. Les propriétés de l'urée	22
II.5.5. L'utilisation d'urée	23

Elle est principalement utilisée sous deux formes physiques : la forme granulée (solide) et la forme en solution (liquide)	23
II.5.6. Description du procédé	24
Usage de la Solution de Formaldéhyde UF-80	30
Chapitre III.	33
Étude du décomposeur 022E001 au niveau du complexe SORFERT	34
III.1. Introduction.....	35
III.2. Problématique	35
III.3.Procédé de décomposition au CO₂ (Stamicarbon)	35
III.4.Le mécanisme de décomposition	37
III.5. Le fonctionnement de décomposeur HP 022E001.....	39
2.La formation de biuret.....	42
Le biuret est un composé obtenu par condensation de deux molécules d'urée et élimination d'une molécule d'ammoniac. Dans les conditions normales de température et pression, il apparaît sous forme d'un solide blanc, soluble dans l'eau chaude et se décomposant de 186 à 189 °C, conformément à l'équation :	42
III.6. Efficacité du décomposeur (α).....	42
Calcul de bilan massique Cas design	44
Calcul le bilan massique Cas actuel	46
Conclusion générale	51

Introduction générale

L'industrie des engrais occupe une place stratégique dans le développement agricole et économique des nations. Parmi les produits les plus utilisés au niveau mondial figure l'urée, un engrais azoté largement apprécié pour sa forte teneur en azote, sa stabilité, sa facilité de transport et son coût relativement faible. La demande croissante en urée, stimulée par la nécessité d'augmenter les rendements agricoles pour répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale en expansion, a conduit au développement de procédés industriels de plus en plus performants et optimisés.

La production industrielle de l'urée au sein du complexe SORFERT en Algérie repose essentiellement sur la réaction entre l'ammoniac (NH_3) et le dioxyde de carbone (CO_2), deux produits issus de l'industrie du gaz naturel. Ce procédé, bien que maîtrisé depuis plusieurs décennies, demeure énergivore et fortement dépendant des conditions opératoires et de l'efficacité des équipements impliqués. Parmi ces équipements, le décomposeur d'urée (ou décomposeur de carbamate) qui occupe une place centrale dans le complexe. Son rôle est crucial pour la dissociation du carbamate d'ammonium non converti et pour la récupération des réactifs (NH_3 et CO_2) destinés au recyclage. Le bon fonctionnement de cet appareil permet non seulement d'améliorer le rendement global de l'unité, mais aussi de réduire les pertes, les émissions polluantes et la consommation énergétique.

L'étude du décomposeur d'urée (022E001) revêt ainsi une importance particulière, car elle ouvre la voie à une optimisation de l'efficacité du procédé, à une meilleure performance énergétique et à une production conforme aux exigences environnementales et économiques. Comprendre son rôle, son principe de fonctionnement, les paramètres influençant ses performances ainsi que les phénomènes thermodynamiques et cinétiques associés constitue un enjeu majeur pour les ingénieurs et les exploitants dans les unités de production d'urée.

Cependant, malgré l'importance du décomposeur d'urée dans l'amélioration du rendement du procédé de synthèse, son fonctionnement réel demeure fortement limité par plusieurs contraintes opérationnelles. En effet, les variations de température, les

fluctuations de pression, la corrosion provoquée par le carbamate d'ammonium, ainsi que la mauvaise répartition des flux internes entraînent une diminution notable de son efficacité et génèrent des pertes énergétiques importantes. Cette situation souligne la nécessité d'identifier avec précision les paramètres critiques influençant ses performances et de proposer des solutions techniques adaptées pour optimiser son fonctionnement, stabiliser l'exploitation et améliorer la performance globale du procédé de fabrication de l'urée.

Pour mener à bien cette étude, nous avons procédé de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à la présentation du complexe SORFERT Algérie.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur l'ammoniac et l'urée.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude du décomposeur HP (022E001) au niveau du complexe SORFERT, incluant l'analyse des conditions de fonctionnement ainsi que l'interprétation des résultats obtenus

Chapitre I.

Présentation du complexe

SORFERT

I.1.Introduction

Le complexe SORFERT a été créé le 19 mars 2007. Il est alimenté par 2 milliards de mètres cubes/an de gaz naturel. Il comporte des installations modernes, fiables et intégrées pour la production d'ammoniac (capacité nominale 2 x 2200 t/jours) et d'urée granulée (capacité nominale de 3450 t/jours) accompagnées des services et installations hors site nécessaires aux fins de l'installation. L'installation est conçue pour un taux de fonctionnement de 350 jours/an. la conception, le développement et la construction clés en main du complexe ont été confiés à la compagnie allemande UHDE, qui est leader dans son domaine en matière de technologie servant à la production de fertilisants. Ce chapitre comprend une présentation générale de l'usine, de sa hiérarchie, son organisation et une description des différentes implantations qui s'y trouvent, et même une description générale des différents procédés.

I.2. Situation géographique du complexe

Le complexe **SORFERT** est situé dans la zone industrielle d'Arzew à l'Ouest de Bethioua, à 6 Km de la ville d'Arzew, 40 Km à l'Est d'Oran, il couvre une superficie de 37 hectares et se compose notamment de plusieurs zones.[1]



Figure I.1. Localisation de la zone industrielle d'Arzew

I.3. Fiche technique

Les principales caractéristiques techniques du complexe sont regroupées dans le tableau (I.1).[2]

Tableau I.1. Fiche technique du complexe

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

I.4. Les installations du Complexe

Les installations de **SORFERT** se composent de :

- ✓ Deux unités de production d'ammoniac de capacité de 2 200 tonnes/jour pour chacune ;
- ✓ Une unité de production de 3450 tonnes/jour d'urée en granulés ;
- ✓ Une usine de dessalement d'eau de mer ;
- ✓ Des installations électriques ;
- ✓ Un réservoir d'eau d'une capacité de 6000 m³ ;
- ✓ Un bac de stockage d'urée ;
- ✓ Deux réservoirs de stockage d'ammoniac d'une capacité de 30000 tonnes à proximité du port.
- ✓ Un corridor technique comprenant :
 - A. Une conduite d'amenée d'eau de mer ;

- B. Un pipeline de transfert de l'ammoniac ;
- C. Une conduite de retour d'eau de mer ;
- D. Une ligne en fibre optique pour le transport de l'information ;
- E. Des câbles pour le transport de l'énergie électrique.[3]

I.5. Matières premières et produits finis [4]

I.5.1. Les matières premières

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

- ✓ **Le gaz naturel** (hydrogène) : Le gaz naturel est un combustible fossile composé d'un mélange d'hydrocarbures présent naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse.
- ✓ **Le gaz naturel** utilisé provient de **la zone R.T.O.** leur composition est regroupée dans le tableau (I.2)

Tableau I.2. La composition du GN utilisé comme charge.

Composants du GN	Quantité	Unité
H ₂ O	0	% mol
He	0,18	% mol
N ₂	5,57	% mol
CO ₂	0,22	% mol
CH ₄	83.38	% mol
C ₂ H ₆	7,68	% mol
C ₃ H ₈	1,99	% mol
I-butane	0,3	% mol
N-butane	0,45	% mol
I-pentane	0,09	% mol
N-pentane	0,10	% mol
N-hexane	0,04	% mol
Hg	50	($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
Soufre	<10	(ppm)

- ✓ **L'oxygène** : L'oxygène est un élément nécessaire dans l'usine, il provient de l'air atmosphérique.

- ✓ **L'azote (nitrogène)** : L'azote est un élément clé dans le procédé, et on l'obtient à partir de l'air atmosphérique.
- ✓ **Le dioxyde de carbone (CO₂)** : Le dioxyde de carbone, est à la fois un produit et aussi une matière première, on l'obtient du procédé d'ammoniac, et on l'utilise pour produire de l'urée.
- ✓ **La vapeur d'eau** : La vapeur d'eau est primordiale afin que le procédé se déroule, on l'utilise un peu partout dans le procédé et même dans les utilités, tel que la production d'électricité.

I.5.2. Les produits finis

Les produits finis du Complexe des Fertilisants de SORFERT sont :

- ✓ **L'Ammoniac (NH₃)** stockée à l'état liquide au site et au port.

F. L'Urée (CO(NH₂)₂) granulée stockée au site et expédiée par camion au port.

I.6. Les principales zones du complexe

La figure (I.2) illustre l'organisation des principales zones dans le complexe

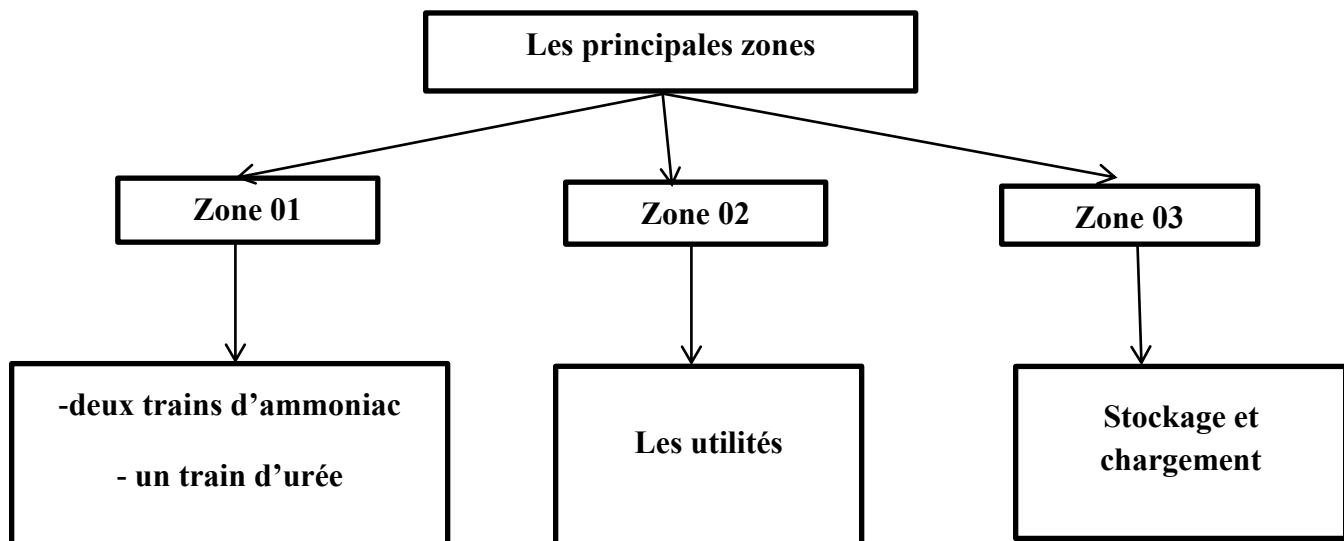


Figure I.2 . LesPrincipales zones ducomplexe

I.6.1. Description dutraind'ammoniac

Le complexe **SORFERT** dispose de deux trains identiques produisant l'ammoniac selon le procédé UHDE.

La production se fait à partir de l'**azote** (air) et de l'**hydrogène** (gaz naturel).

Les étapes principales de cette production sont:

- ✓ Extraction de l'Hélium et du Mercure du Gaz Naturel ;
- ✓ Désulfurisation et Compression du Gaz Naturel ;
- ✓ Compression d'Air du procédé;
- ✓ Reformage à la vapeur et reformer (Vapo-Reformage) ;
- ✓ Conversion du CO;
- ✓ Extraction du CO₂ (décarbonatation) ;
- ✓ Méthanation;
- ✓ Compression du Gaz de Synthèse ;
- ✓ Synthèse de l'Ammoniac (NH₃);
- ✓ Réfrigération de l'Ammoniac.

I.6.2. Description du train d'urée

L'urée est produite à partir de l'**ammoniac** (NH₃) et du **dioxyde de carbone** (CO₂).

Les étapes principales :

- ✓ Compression du CO₂.
- ✓ Pompe d'Ammoniac.
- ✓ Synthèse d'urée.
- ✓ Recirculation.
- ✓ Evaporation.
- ✓ Granulation de l'urée puis stockage et transport vers le port d'Arzew.

I.6.3. Description des utilités

Les utilités représentent l'ensemble des services indispensables au fonctionnement du complexe **SORFERT** et au soutien des unités de production d'ammoniac et d'urée.

a. **Les chaudières autonomes** : Le site dispose de trois chaudières autonomes produisant de la vapeur haute pression surchauffée à 116 bars.

Cette vapeur est utilisée pour alimenter les turbines à vapeur qui entraînent les générateurs électriques et pour les besoins des unités en exploitation normale ou au démarrage.

L'eau d'alimentation des chaudières provient de l'unité de déminéralisation après traitement.

b. **La production d'énergie électrique** : L'alimentation électrique est assurée par une centrale interne composée de deux turboalternateurs d'une capacité totale de

2×45MW. En fonctionnement normal, ces turbines produisent simultanément de l'électricité et de la vapeur moyenne pression grâce à l'extraction turbine.

Le site peut fonctionner de manière autonome sans dépendre du réseau électrique externe.

c. **Système d'azote** : Essentiel au fonctionnement du train d'ammoniac, est fourni sous forme liquide depuis l'extérieur. Il est stocké dans une cuve à une pression d'environ 18 bars et vaporisé à l'aide d'un vaporisateur pour être utilisé dans le procédé.

d. **Refroidissement à l'eau de mer** : Ce système est utilisé pour refroidir plusieurs équipements importants tels que les condenseurs de turbines, le condenseur d'ammoniac et les échangeurs de chaleur.

Il comprend des pompes de circulation, des tours de refroidissement et des échangeurs thermiques.

L'eau de mer est traitée chimiquement (bioxyde de chlore et inhibiteurs) pour éviter l'entartrage et la prolifération biologique.

e. **Circuit de refroidissement en boucle fermée** : Deux circuits indépendants assurent le refroidissement interne de l'ensemble des unités du complexe. Ce circuit alimente tous les échangeurs sauf ceux utilisant directement l'eau de mer. L'eau utilisée est une eau traitée polie, et le refroidissement est assuré indirectement via des échangeurs à plaques utilisant l'eau de mer.

Des inhibiteurs chimiques sont ajoutés pour protéger le système contre la corrosion.

f. **Unité de dessalement** : Elle comprend deux procédés :

- **Osmose inverse (RO)** : utilisée lors du démarrage pour produire de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer, comme est illustré sur la figure (I.3)



Figure I.3 . L'unité de dessalement par Osmose Inverse

- **Thermo-compression** : utilisée en régime normal pour alimenter les unités en eau dessalée destinée à la production d'ammoniac et d'urée, l'unité de dessalement par thermo-compresseur est présent sur la figure (I.4)



Figure I.4.L'unité de dessalement par thermo-compresseur

g. **Unité de déminéralisation** : Cette unité produit de l'eau ultra-pure (polishée) à partir de condensats et d'eau dessalée, comme illustré la figure (I.5)

Elle utilise des résines échangeuses d'ions (cationiques et anioniques) en lit mixte.

Cette eau est principalement utilisée pour la production de vapeur haute pression dans les chaudières.



Figure I.5.L'unité de déminéralisation

h. **Réseau anti-incendie** : Un système complet de protection incendie est installé sur tout le site. Il comprend des conduites, boucles d'incendie, moniteurs et systèmes de pompage pour assurer la sécurité des installations.

i. **Prise d'eau de mer** : L'eau de mer est utilisée comme ressource principale pour :

- ✓ Le refroidissement et les appoints des circuits.
- ✓ L'alimentation des unités de dessalement.

I.6.4. Stockage et chargement

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

✓ Stockage sur site:

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

✓ Stockage au port :

Le stockage au port se constitue de deux réservoirs d'ammoniac liquide d'une capacité de 30 000 m³ pour chacun et une station de pompage d'ammoniac liquide d'une capacité de 1000 m³/h et un quai d'expédition avec deux bras de chargement. [4]

Chapitre II.

Généralité sur l'ammoniac et l'urée

II.1. Introduction

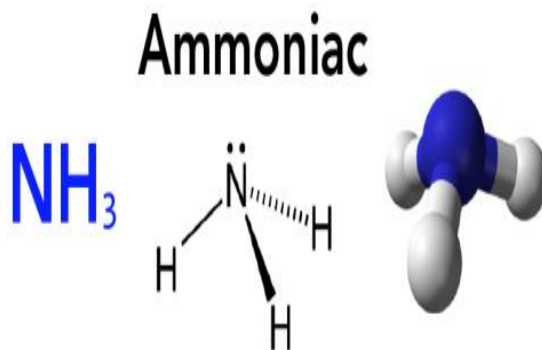
L'ammoniac et l'urée occupent une place centrale dans l'industrie des engrais azotés, dont le rôle est devenu stratégique pour répondre aux besoins alimentaires croissants à l'échelle mondiale. L'ammoniac constitue le point de départ de nombreux procédés chimiques, notamment la synthèse de l'urée, l'engrais azoté solide le plus utilisé dans le secteur agricole grâce à sa forte teneur en azote, sa stabilité et sa facilité de transport.

La compréhension des propriétés, des procédés de production et des transformations de ces deux composés est essentielle pour maîtriser l'efficacité globale des unités industrielles qui les produisent.

Dans ce chapitre, nous présentons les aspects fondamentaux de l'ammoniac et de l'urée, leurs mécanismes de synthèse, ainsi que les différentes étapes du procédé industriel mis en œuvre pour leur production au sein des complexes modernes.

II.2. Définition d'ammoniac

L'ammoniac est un composé de formule chimique NH_3 , à température ambiante, il se présente sous la forme d'un gaz incolore mais très irritant et à l'odeur piquante. La molécule d'ammoniac NH_3 .



II.3. La synthèse d'ammoniac

La synthèse de l'ammoniac montre dans la figure (II.1) est réalisée par la réaction directe entre le dihydrogène et le Diazote, en présence d'oxydes de fer comme catalyseur selon la réaction



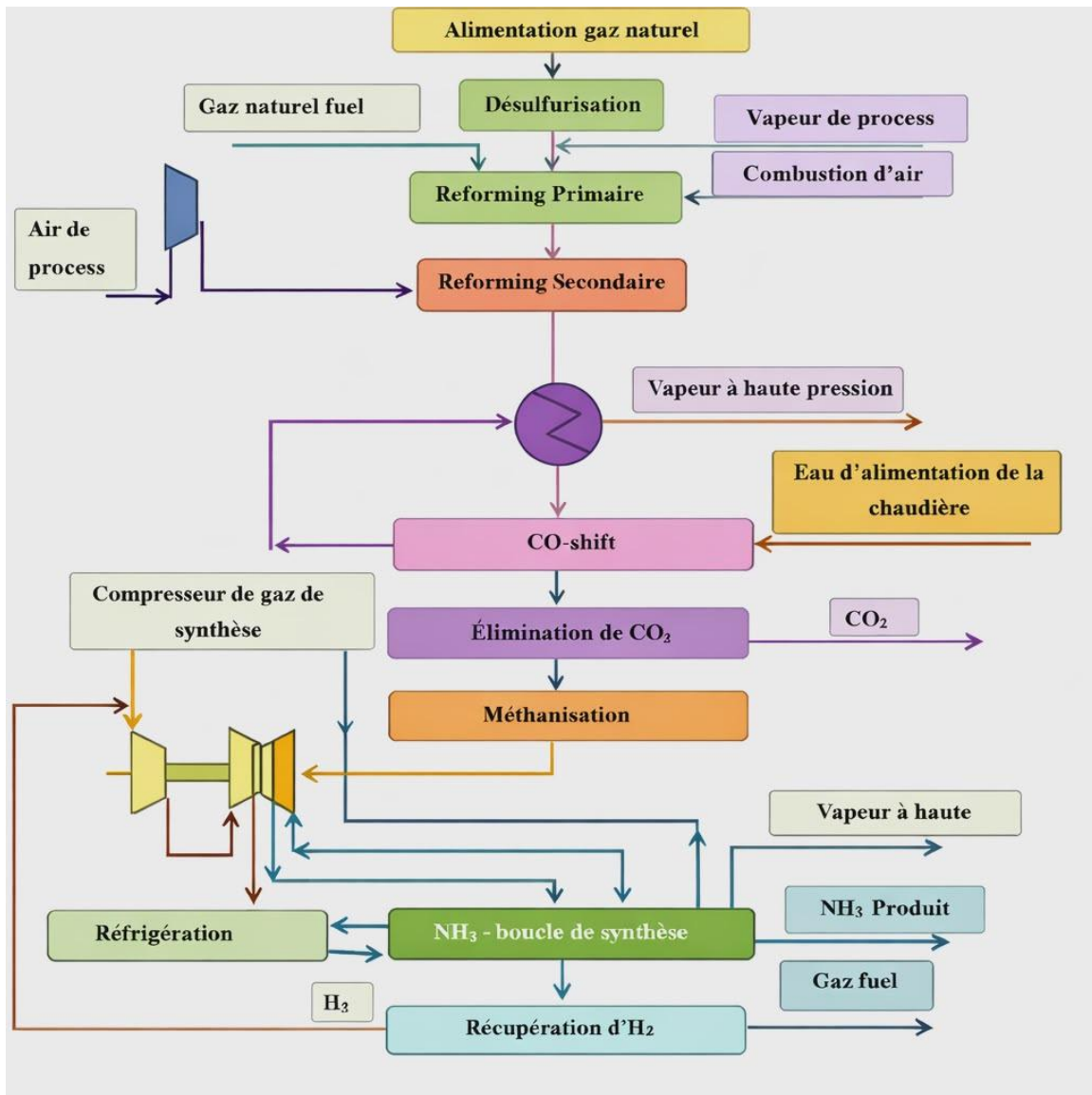


Figure. II.1. Synthèse d'ammoniac

II.4. Unité d'ammoniac

La description du procédé ammoniac fait référence à l'unité d'ammoniac I (Train 1) et l'unité d'ammoniac II (Train 2) les deux unités sont identiques.

II.4.1. Élimination de l'hélium et du mercure (Unité 000)

Le gaz naturel passe d'abord par un séparateur pour retirer les liquides, puis par des modules à membranes qui séparent un flux riche en hélium (utilisé comme gaz de

combustion) et un résidu appauvri en hélium. Ce résidu est ensuite traité dans un réacteur contenant des absorbants pour éliminer le mercure.

II.4.2. Désulfuration et compression du gaz naturel (Unité 101)

Le gaz est comprimé à la pression de procédé puis préchauffé. On y ajoute une petite quantité et de désulfuration afin d'éliminer les composés soufrés, très nuisibles pour les catalyseurs. Le gaz purifié est envoyé vers le reformeur à vapeur.

II.4.3. Compression de l'air industriel (Unité 102)

L'air comprimé est principalement destiné au reformeur secondaire, mais sert aussi à la passivation de l'unité d'urée et peut alimenter le système d'air utilités. La compression est assurée par un compresseur centrifuge à 4 étages entraîné par une turbine à vapeur, garantissant fiabilité et rendement.

II.4.4. Reformage à la vapeur et récupération de chaleur (Unité 103)

Le reformage à la vapeur consiste à transformer le méthane et les hydrocarbures légers en un mélange d'hydrogène (H_2), monoxyde de carbone (CO) et dioxyde de carbone (CO_2) en faisant passer un mélange gaz naturel vapeur sur un catalyseur au nickel, la réaction est fortement endothermique, d'où l'importance du chauffage fourni par le reformeur.

Étapes internes principal dans les tubes du reformeur :

- ✓ Préchauffage du mélange gaz naturel/vapeur;
- ✓ Réaction de conversion des hydrocarbures;
- ✓ Ajustement de l'équilibre réactionnel.

Le gaz reformé issu de chaque tube est récupéré dans un collecteur protégé contre la corrosion. Il quitte le reformeur principal **103B001** puis entre dans le reformeur secondaire **103R001**, où il est mélangé à de l'air industriel chaud provenant du compresseur **102K001**. Dans le reformeur secondaire, le méthane résiduel est converti presque totalement.

Refroidissement du gaz reformé : Le gaz sortant du reformeur secondaire (~1000°C) doit être refroidi à environ 370°C avant d'entrer dans l'unité de conversion du CO (104).

Ce refroidissement se fait dans le train de refroidissement, comprenant :

- ✓ Refroidisseur **103E001**, qui produit de la vapeur HP (haute pression);
- ✓ Surchauffeur de vapeur HP **103E002**, relié à un ballon vapeur.

II.4.5. Chambre de combustion et rampe de convection

La chambre de combustion du reformeur **103B001** est chauffée par des brûleurs situés en haut, capables de brûler différents gaz combustibles. Les fumées circulent vers le bas entre les rangées de tubes, évitant les flux croisés et assurant un chauffage uniforme.

L'air de combustion est :

- ✓ Fourni par le ventilateur **103K001**;
- ✓ Préchauffé dans le calorifère **103E004** puis dans la rampe de convection **103B003E41**.

Les fumées chaudes (~1010°C) quittant la chambre de combustion sont utilisées pour :

- ✓ Préchauffer le gaz naturel;
- ✓ Chauffer l'air industriel et l'air de combustion;
- ✓ Surchauffer la vapeur HP.

L'évacuation des fumées se fait via le ventilateur **103K002**.

II.4.6. Conversion du CO (Unité 104)

Le monoxyde de carbone (CO) est transformé en dioxyde de carbone (CO₂) grâce à une réaction catalytique exothermique : Dans le convertisseur HT, le CO est réduit à moins de 4 % avec une augmentation de température, le gaz est refroidi puis envoyé au convertisseur LT, où le CO est éliminé jusqu'à des traces. Après un second refroidissement, le gaz est dirigé vers l'unité d'élimination du CO₂.

II.4.7. Élimination du CO₂ (Unité 105)

La chaleur du gaz est récupérée dans des échangeurs pour produire de la vapeur et préchauffer l'eau. Le condensat est séparé avant l'absorption. Le CO₂ est éliminé dans un absorbeur à deux étages utilisant une solution **MDEA**, jusqu'à environ 500 ppm. Les gouttelettes de liquide sont retirées pour purifier le gaz. Le solvant chargé est régénéré par détente et par vapeur, puis recyclé. Le CO₂ récupéré est utilisé pour la production d'urée.

II.4.8. Méthanisation (Unité 106)

La méthanisation vise à éliminer les dernières traces de CO et CO₂, contaminants dangereux pour le catalyseur de synthèse d'ammoniac. Le gaz converti est chauffé (~300 °C) et envoyé dans le réacteur de méthanisation. La réaction est exothermique, ce qui augmente la température du gaz à l'intérieur du réacteur. Le gaz chaud est ensuite refroidi dans un échangeur gaz/gaz puis dans un refroidisseur à eau. Le gaz obtenu respecte la spécification du gaz de synthèse et est envoyé vers l'aspiration du compresseur (unité 107).

II.4.9. Compression de gaz de synthèse (Unité 107)

Le gaz de synthèse, mélangé au gaz récupéré de la récupération d'hydrogène, est comprimé à environ 200 bars, pression nécessaire pour la synthèse d'ammoniac.

Le compresseur **107K001** est centrifuge, à trois étages et deux chambres, avec une turbine pour assurer la recirculation dans la boucle.

Une petite partie du gaz est prélevée pour servir de combustible dans l'unité de désulfurisation. Le gaz comprimé est refroidi, séparé des condensats, puis envoyé comme appoint dans la boucle de synthèse d'ammoniac.

II.4.10. Synthèse d'ammoniac (Unité 108) La synthèse d'ammoniac se fait à partir d'un mélange H₂/N₂ à 390–510 °C, en présence d'un catalyseur à base de fer.

- **Fonctionnement des convertisseurs :** Le gaz recyclé est d'abord chauffé puis envoyé dans le premier convertisseur (**108R001**) (Il contient deux lits catalytiques séparés par un échangeur interne permettant de contrôler la température).
Le gaz partiellement converti est refroidi dans un échangeur **108E001** qui produit de la vapeur HP (≈ 127 bars).
Il passe ensuite dans le second convertisseur (**108R002**) équipé d'un troisième lit catalytique.
- **Récupération de chaleur et condensation :** Deux échangeurs de récupération (**108E001** et **108E003**) génèrent de la vapeur HP grâce à la chaleur du procédé.
Après refroidissement final, l'ammoniac NH_3 produit se condense.
- **Gestion du gaz de synthèse :** Le gaz d'appoint provenant du compresseur (unit 107) est ajouté après le refroidissement pour protéger le catalyseur.
Les traces de CO et H_2O sont absorbées par l'ammoniac liquide.
- **Séparation et récupération de l'ammoniac :** liquide est séparé dans **108E005** et **108F002**, puis détendu dans un ballon (≈ 20 bars).
La majorité de l'ammoniac est envoyée vers l'unité d'urée, le reste vers le stockage (unités 051–052) via la réfrigération.
Les gaz dissous sont traités dans l'absorbeur **110C001** pour récupérer le NH_3 .
- **Gestion des gaz inertes :** Le méthane l'argon et l'excès d'azote s'accumulent dans la boucle.
Un gaz de purge est retiré pour contrôler leur concentration. Ce gaz de purge est envoyé vers les L'unité unités de récupération d'ammoniac et d'hydrogène (110 et 111).

II.4.11. Réfrigération (Unité 109)

La réfrigération assure trois fonctions essentielles :

- ✓ Refroidir l'ammoniac produit jusqu'à sa température de stockage ($-33\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- ✓ Fournir le froid nécessaire aux unités ammoniac et urée.
- ✓ Séparer les gaz inertes dissous dans l'ammoniac liquide.

Fonctionnement : L'ammoniac issu du ballon de détente **1080001** passe par une cuve intermédiaire, puis est détendu à 1 bar dans **1090003** (il se refroidit à $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$). Il est ensuite envoyé vers les cuves de stockage des unités 051 ou 052 via les pompes 109P002A/B. L'ammoniac gazeux provenant de plusieurs points est compressé (jusqu'à $\sim 15,8$ bars) dans des supprimeurs puis condensé dans **109E001**. L'ammoniac liquéfié est stocké dans le réservoir **1090001**.

II.4.12. Récupération d'ammoniac (Unité 110)

Les gaz contenant de l'ammoniac (gaz de purge, gaz du ballon de détente, gaz inertes de la réfrigération) passent dans un système où l'eau sert d'absorbant. L'ammoniac absorbé est ensuite récupéré par distillation sous forme d'ammoniac pur. Cette unité évite les pertes d'ammoniac et réduit les rejets.

II.4.13. Récupération du gaz de purge (Unité 111)

Le gaz de purge contient encore une quantité importante d'hydrogène, qui est récupéré et renvoyé vers le compresseur **107K001**. Le gaz résiduel (principalement méthane + azote) est utilisé comme combustible pour le reformeur principal. Le procédé de séparation de l'hydrogène est basé sur des membranes semi-perméables. Ceci améliore le rendement et réduit la consommation d'énergie.

II.3.14. Fonctionnement du décomposeur de condensat (Unité 180)

Le condensat provenant du séparateur de procédé **105F001** et celui issu du compresseur de CO_2 **020K002** sont mélangés puis envoyés vers le préchauffeur 180E001. Après préchauffage, le condensat atteint environ $236\text{ }^{\circ}\text{C}$ et entre dans le décomposeur **180C001**.

À l'intérieur du décomposeur, une partie de la vapeur moyenne pression (MP) injectée par le bas assure le chauffage et la décomposition du condensat. Ce processus permet d'éliminer les gaz dissous, qui sont évacués par la sortie située au sommet de l'équipement.

Le condensat décomposé est maintenu à un niveau contrôlé en fond de colonne grâce à

une vanne de régulation de niveau, puis il est renvoyé vers le préchauffeur **180E001** et le calorifère **103E004**. À environ 262 °C, il sert à préchauffer l'air de déminéralisation et l'air de combustion. Enfin, la vapeur générée au sommet du décomposeur est réinjectée dans le circuit principal de vapeur de procédé, en amont de la surchauffeur du reformeur primaire.

II.5. Généralités sur l'urée

II.5.1. Historique

L'urée occupe une place importante dans le développement de la chimie moderne. Elle a été identifiée pour la première fois dans l'urine humaine par le pharmacien français **Hilaire Marin Rouelle** au XVIII^e siècle (figure II.2)

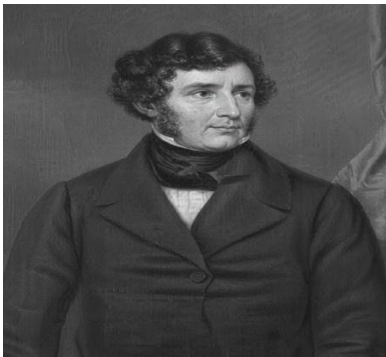


Figure II.2. Pharmacien Hilaire Marin ROUELLE

Par la suite, en **1828**, le chimiste allemand **Friedrich Wöhler** a réussi à synthétiser l'urée en laboratoire à partir de composés minéraux, marquant ainsi une avancée majeure en chimie organique, en démontrant que les substances organiques peuvent être obtenues à partir de matières inorganiques.

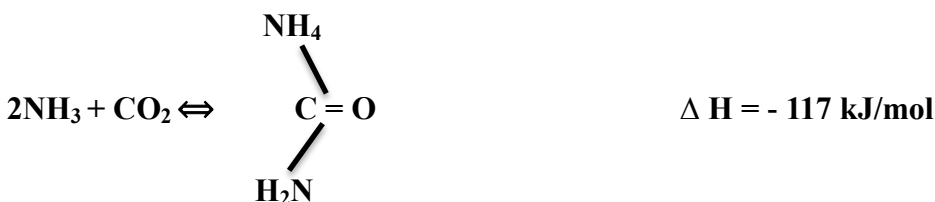
Sur le plan industriel, la production de l'urée s'est fortement développée au début du XX^e siècle, notamment grâce au procédé de synthèse de l'ammoniac mis au point par **Fritz Haber** et **Carl Bosch**. Aujourd'hui, l'urée est principalement produite à partir de

l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Elle est largement utilisée comme engrais azoté dans l'agriculture, ainsi que dans plusieurs secteurs industriels. [5]

II.5.2 Production de l'urée

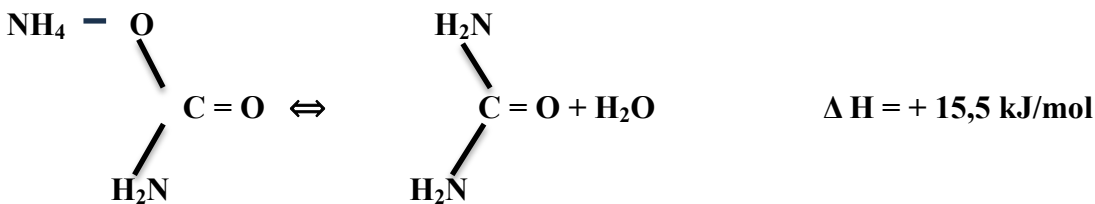
L'urée est un composé organique de carbone, azote, oxygène et hydrogène. Sa formule chimique est écrite comme $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, CON_2H_4 , ou $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$. [6]

II.5.2.1. Les réactions chimiques de production d'urée : La production d'urée a lieu à partir d'une réaction en deux étapes. L'ammoniac et le dioxyde de carbone réagissent en première lieu pour former du carbamate d'ammonium :



Cette réaction fortement exothermique atteint très rapidement un équilibre. Il sera par la suite fait mention de l'équilibre du carbamate pour évoquer le système de réaction présenté ci-dessus.

En phase liquide, le carbamate d'ammonium est ensuite déshydraté en urée et en eau :

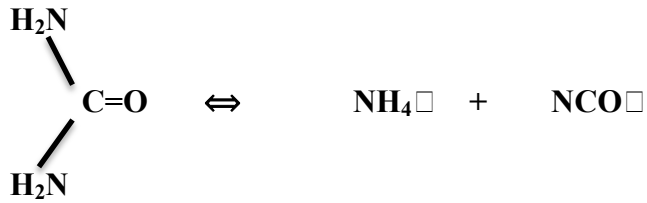


Cette réaction d'équilibre endothermique est plutôt lente en comparaison à la première ; le système sera par la suite appelé l'équilibre de l'urée.

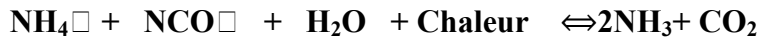
II.5.2.2. Les réactions secondaires :

a. Hydrolyse

L'hydrolyse de l'urée se produit conformément aux équations de réaction suivantes :

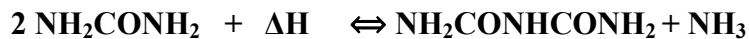


Urea **Isocyanate D' ammonium**



b. Formation de Biuret

Pendant la formation d'urée, le biuret se forme comme un dérivé, conformément à l'équation :



Urée

Biuret

Ammoniac

II.5.3. Les paramètres qui influent sur la réaction de production d'urée

- Température;
- Pression;
- Concentration;
- Temps de séjour.

II.5.4. Les propriétés de l'urée

L'urée est soluble dans l'eau, le benzène, et l'alcool, légèrement soluble dans l'éther.

Les propriétés de l'urée sont regroupées sur le tableau (II.1). [6]

Tableau II.1.les propriétés de l'urée

La masse moléculaire	60,06g/mol
-----------------------------	-------------------

Température de fusion	132,6°C
La masse volumique apparente	740kg/m3
L'enthalpie de dissolution dans l'eau	243 J/g(endothermique)
La densité	1,335
L'humidité relative critique à 20°C	81%
L'humidité relative critique à 30°C	73%
La chaleur spécifique 20°C	0,32 cal /g °C
Teneur maximale en azote	46,6 %
La couleur	Blanche

II.5.5. L'utilisation d'urée

Elle est principalement utilisée sous deux formes physiques : la forme granulée (solide) et la forme en solution (liquide)

II.5.5.1. Urée granulée

- Environ 56 % d'urée fabriquée est utilisée dans les engrais solide, spécialement pour la Région inondée (pour la culture de riz).
- Environ 31 % de l'urée fabriquée est utilisée dans l'engrais liquide
- Les résines urée-formaldéhyde ont une grande utilisation comme adhésif de contre-plaqué.
- Les résines de mélamine -formaldéhyde sont utilisées comme la vaisselle (Aliments pour bétail supplément où il n'est pas cher) et pour faire plus dure surface.
- Matériau d'alimentation pour les matières plastiques de mélamine et diverses colles (Urée - Formaldéhyde, urée- mélamine - formaldéhyde).

Remarque importante

L'urée granulé qui a un pourcentage de biuret inférieure à 1% utilisé dans l'agriculture tandis qu'environ à 1% utilisé dans l'industrie.

II.5.5.2. Urée solution

Solution d'urée dispose d'une large gamme de produits industriels et agricoles, y compris

- Chimique intermédiaire pour la production d'amines, produits pharmaceutiques, explosifs et des catalyseurs.
- Agent réducteur dans SCR / SNCR procédés.
- Source d'azote non protéique utilisé par les ruminants pour former les protéines.
- Des éléments nutritifs pour la fermentation procédée.
- Des éléments nutritifs pour l'effluent traitement des eaux usées. [7]

II.5.6. Description du procédé

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

L'unité opère avec du CO_2 et du NH_3 provenant du procédé et de tous les systèmes de compression dans un seul flux avec une capacité de 3450MTPD résultant en un seul produit fini qui est l'urée granulée.

L'unité est divisée en système comme suit :

- ❖ **020 Compression du CO_2 ;**
- ❖ **021 Pompage du NH_3 ;**
- ❖ **022 Synthèse de l'urée;**
- ❖ **023 La recirculation;**

- ❖ 024 L'évaporation;
- ❖ 027 La granulation;
- ❖ 028 Désorption &hydrolyse;
- ❖ 029 Vapeurs et condensats.

L'organigramme de synthèse est présent sur la figure (II.3)

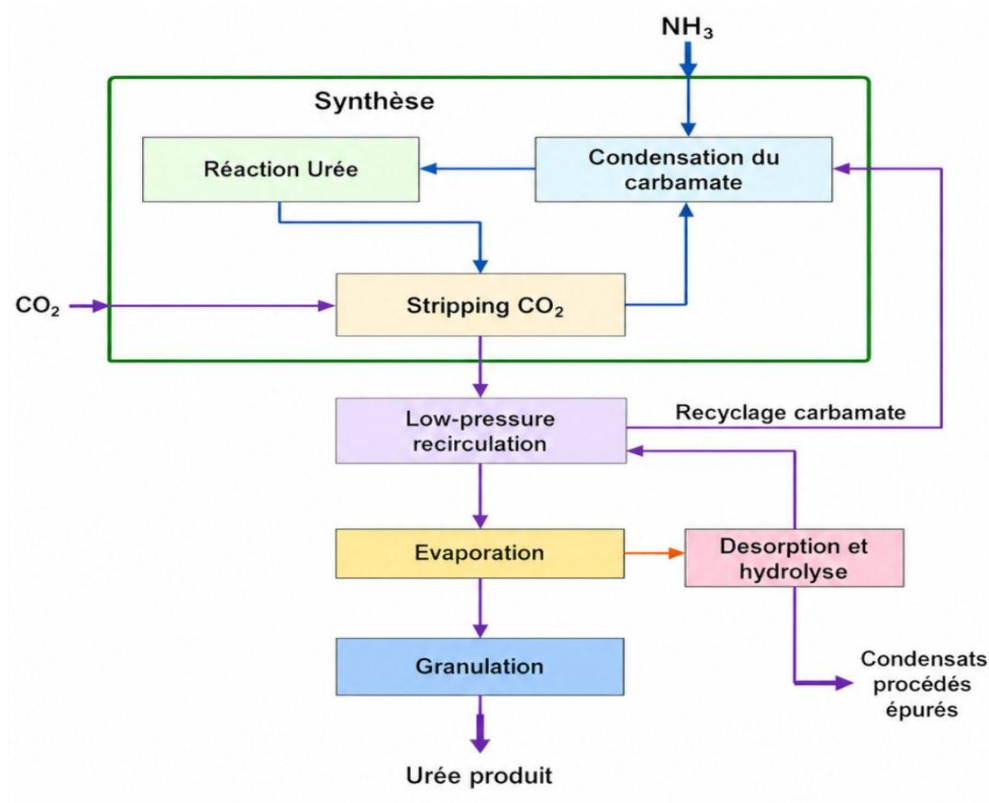


Figure. II.3 : Synthèse l'urée

II.5.6.1. Compression du CO₂ 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 bars. 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_2 . Le dioxyde de carbone déshydrogéné est introduit dans la partie inférieure du Stripper.

II.5.6.2. Pompage du NH_3 système 021

L'ammoniac liquide est acheminé depuis l'installation jusqu'à la pompe multicellulaires 021P002 du NH_3 haute pression où 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.

II.5.6.3. Synthèse de l'urée système 022

La synthèse de l'urée repose sur la réaction entre l'ammoniac (NH_3) et le dioxyde de carbone (CO_2) sous haute pression, suivie d'un recyclage continu du carbamate non converti.

Condensation et formation du carbamate (Condenseur HP 022E005) : Le mélange ammoniac + carbamate recyclé + CO_2 entre dans un condenseur de type U submergé. La majorité des gaz se condense en carbamate d'ammonium. La réaction est exothermique, production de vapeur LP à 4,4 bars. Cette vapeur est récupérée pour le chauffage de l'installation.

Conversion du carbamate en urée (Condenseur + Réacteur 022R001) : La déshydratation du carbamate en urée + eau débute dans le condenseur puis se poursuit dans le réacteur 022R001. L'effluent du réacteur contient $\approx 33,5 \%$ d'urée.

Décomposition dans le décomposeur HP (Échangeur 022E001) : L'effluent traverse un échangeur à couches minces où il rencontre du CO_2 frais en contre-courant. Cela diminue la pression partielle de NH_3 , décomposition du carbamate non converti. Les gaz libérés (NH_3 et CO_2) retournent au condenseur. La solution sortante contient $\approx 9 \%$ d'ammoniac.

Recirculation basse pression : La solution d'urée est envoyée à la section LP. La condensation des gaz de dégagement HP produit de nouveau de la vapeur LP 4,4 bar utilisée sur le site.

Contrôle des pressions : La pression vapeur côté tubes du condenseur HP est contrôlée par une soupape de régulation. La pression de synthèse est maintenue à $\approx$ 147 bars absolus.

Rendement dans le condenseur de synthèse : 70 à 75 % des gaz provenant du décomposeur se condensent dans le condenseur de synthèse. Environ 55 % de l'urée totale est formée dans ce condenseur.

Fonctionnement du réacteur 022R001 : L'urée formée, le carbamate restant et l'excès d'ammoniac entrent dans le bas du réacteur.

Le réacteur comporte 5 plateaux pour assurer : un écoulement proche du piston, un bon temps de séjour, un évitement des zones stagnantes, dérivations et refoulements. Le chauffage du réacteur provient de la condensation $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$.

Laveur HP 022E003 : Les gaz du décomposeur montent vers le laveur HP, composé : d'un échangeur tube/calandre (bas), et d'un lit de garnissage (haut).

Dans la partie basse : condensation de la majorité du NH_3 et CO_2 (refroidis à l'eau tempérée).

Dans la partie haute : absorption des gaz résiduels par la solution de carbamate LP. Les gaz restants (N_2 , O_2 , traces NH_3/CO_2) sont envoyés vers l'absorbeur LP 022C001 (3,9 bars).

Recirculation par l'éjecteur : La solution de carbamate du laveur HP est envoyée au condenseur HP via l'éjecteur d'ammoniac HP, entraînée par la pression de l'alimentation NH_3 .

Sécurité : Des soupapes de sécurité sont installées entre le réacteur et le laveur HP. Si la pression approche la valeur de déclenchement, le système de synthèse se met en sécurité pour éviter des ouvertures non désirées.

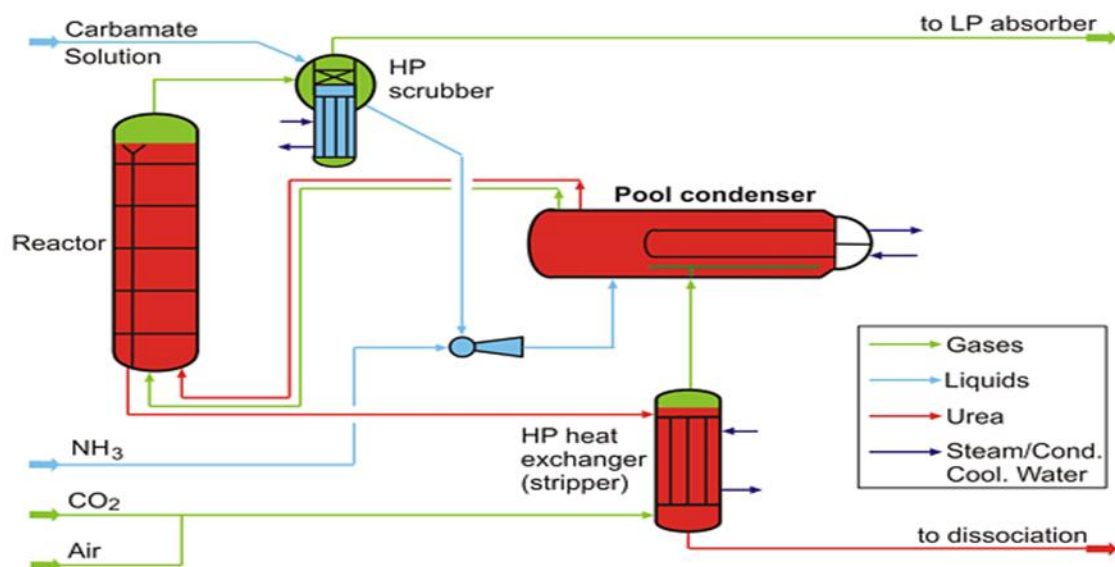


Figure. II. 3. La boucle de synthèse d'urée (STAMICARBON)

II.5.6.4. La 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 jusqu'à l'aspiration de la pompe de carbamate haute pression ; sa pression y 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

II.5.6.5. L'évaporation 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- Chapitre IV Description de l'unité de production de l'urée granulée 31 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.

II.5.6.6. La granulation système 027

La solution d'urée concentrée (96–97 %, 133–135 °C) provenant du séparateur de l'évaporateur 024F001 est mélangée à une petite quantité de formaldéhyde pour

améliorer la résistance mécanique des granulés. Ce mélange est envoyé vers la pompe d'alimentation 027P001, qui injecte la solution dans le granulateur.

Granulation dans le lit fluidisé : Le granulateur contient un lit fluidisé composé de : fines granules, granules broyées surdimensionnées, poussières d'urée recyclées. Le lit est maintenu en suspension grâce au ventilateur de fluidisation 027K001. La solution d'urée est atomisée en fines gouttelettes par le ventilateur 027K002. Pendant la fluidisation, les fines particules grossissent par dépôt successif jusqu'à atteindre une température d'environ 94 °C. En fin de granulateur, l'air continue de refroidir les granulés.

Tamis de sécurité et recyclage : À la sortie, un tamis de sécurité 027S001 élimine les agglomérats > 10mm. Ces gros morceaux sont dissous dans le réservoir de recyclage 027T004 et renvoyés à la section d'évaporation. Le produit tamisé va ensuite au premier refroidisseur 027E003, où il est ramené à ~60 °C.

Classification du produit : Après un transport par élévateur 027H002, le produit arrive au tamis vibrant 027S004, qui le sépare en trois fractions : **Surdimensionné** (recyclage vers le granulateur), **Bonne taille** (on-size) (refroidisseur final 027E007), **Sous-dimensionné** (recyclage vers le granulateur)

Refroidissement final : Dans le refroidisseur final, les granulés sont refroidis à environ 40 °C avec de l'air conditionné et séché. Le séchage de l'air est nécessaire pour éviter que l'urée absorbe de l'humidité. Le refroidissement repose sur l'évaporation d'ammoniac dans le refroidisseur-séparateur 027D005 ($\approx 4,5$ bars, 1–3 °C). L'ammoniac évaporé est renvoyé à l'unité ammoniac.

Traitement des gaz chargés en poussière : L'air contenant des poussières provenant : du granulateur (laveur 027C001 des refroidisseurs, laveur 027C002) Les laveurs éliminent la poussière d'urée avant rejet.

Stockage : Une fois refroidi et sec, le produit fini est envoyé par convoyeur 027H013 vers le stockage en vrac.

Usage de la Solution de Formaldéhyde UF-80

Le méthanal ou formaldéhyde ou aldéhyde formique ou formol est un composé organique de la famille des aldéhydes, de formule chimique CH_2O

- **Formule :** CH_2O
- **Densité :** 815,30 kg/m³
- **Point d'ébullition :** -19°C
- **Nom IUPAC :** Méthanal
- **Masse molaire :** 30,031 g/mol
- **Point de fusion :** -92°C
- **Solubilité :** Eau

II.5.6.7. Désorption et Hydrolyse (traitement des condensats de procédé) Système 028

Les condensats de procédé provenant du condenseur de l'évaporateur, qui contiennent de l'ammoniac, du dioxyde de carbone et de l'urée, sont collectés dans le réservoir d'eau ammoniacale. Ils sont utilisés comme 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, et liquide de dilution pour le condenseur à réservoir de détente.

Dans le premier désorbeur, le volume d'ammoniac et de dioxyde de carbone est décomposé au moyen des vapeurs de tête provenant du second désorbeur et de l'hydrolyseur. L'effluent inférieur du premier désorbeur est pompé via l'échangeur de chaleur de l'hydrolyseur, où il est réchauffé d'environ 140 °C à 200 °C, et envoyé vers le haut de l'hydrolyseur. Dans l'hydrolyseur, l'urée est décomposée en ammoniac et en dioxyde de carbone tout en étant chauffée à l'aide de vapeur haute pression directe à environ 210 °C. 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 de 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 étant expédiées vers le premier désorbeur. Après un refroidissement de l'effluent de l'hydrolyseur dans l'échangeur de chaleur de l'hydrolyseur à environ 150 °C, il est introduit en haut du second désorbeur. Ici, l'ammoniac et le dioxyde de carbone restant est décomposé au moyen de vapeur basse pression directe. L'effluent du second désorbeur est refroidi à environ 92 °C 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 de l'eau de refroidissement à environ 45 °C. La teneur est inférieure à 1 ppm d'urée et d'ammoniac pour chaque. 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 de tête du premier désorbeur sont condensés dans le condenseur de reflux et 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.

II.5.6.8. Vapeurs et condensats système 029

Cette unité est intégrée avec les autres unités là où elle est déjà mentionnée dans chaque système.

Chapitre III.

Étude du décomposeur 022E001 au niveau du complexe SORFERT

III.1. Introduction

Après le réacteur de synthèse 022R001 de l'urée, l'effluent réactionnel est envoyé vers le décomposeur de carbamate HP 022E001, un équipement fonctionnant sous des conditions thermodynamiques sévères. Le rôle essentiel de ce décomposeur est d'assurer la dissociation du carbamate d'ammonium non converti en NH_3 et CO_2 , permettant ainsi d'augmenter le rendement global de production d'urée (jusqu'à environ 54 % dès cette étape). Ce chapitre est dédié à l'étude de décomposeur HP 022E001.

III.2. Problématique

La problématique consiste à déterminer dans quelle mesure les performances réelles du décomposeur de carbamate haute pression 022E001 illustré dans la Figure (III.1) sont conformes aux performances de conception, sachant que cet équipement fonctionne sous des conditions opératoires sensibles susceptibles de varier (température, pression et efficacité du stripping). Il s'agit ainsi d'évaluer la capacité de l'unité à assurer une décomposition optimale du carbamate et une récupération efficace des réactifs, conformément aux prévisions théoriques, à travers l'analyse des bilans massique et énergétique afin de mettre en évidence tout écart de performance pouvant affecter le rendement global du procédé de production d'urée.

III.3. Procédé de décomposition au CO_2 (Stamicarbon)

Le procédé de stripage au CO_2 développé par Stamicarbon est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés dans les unités d'urée. Il a été le premier à introduire le stripage haute pression de l'effluent du réacteur en utilisant le CO_2 frais comme agent de décomposition et de récupération des réactifs. La figure (III.2) représente Procédé de décomposition au CO_2 STAMICARBON.



Figure. III.1. Le décomposeur HP 022E001

Dans le réacteur de synthèse, la réaction de formation de l'urée n'est jamais totale. On retrouve donc dans la solution :

- de l'ammoniac libre (NH_3).
- du dioxyde de carbone (CO_2).
- du carbamate d'ammonium non converti.

Ces composants doivent être rapidement éliminés pour permettre la poursuite du procédé. C'est le rôle du décomposeur HP, où la solution issue du réacteur est envoyée.

Fonctionnement : Sous haute pression, le CO_2 injecté sert d'agent de stripage. Le carbamate d'ammonium est décomposé en NH_3 et CO_2 . Ces gaz, récupérés presque intégralement, sont immédiatement recyclés vers le condenseur de synthèse, ce qui améliore le rendement global.

La décomposition doit être effectuée assez rapidement et à une température modérée, afin d'éviter la dégradation de l'urée déjà formée.

Les versions actuelles du procédé (Urea 2000Plus) visent à réduire la consommation énergétique, diminuer les émissions, améliorer la récupération des réactifs pour réduire les pertes.

La solution de carbamate traitée dans cette étape constitue donc un maillon essentiel pour assurer une production d'urée efficace et performante.

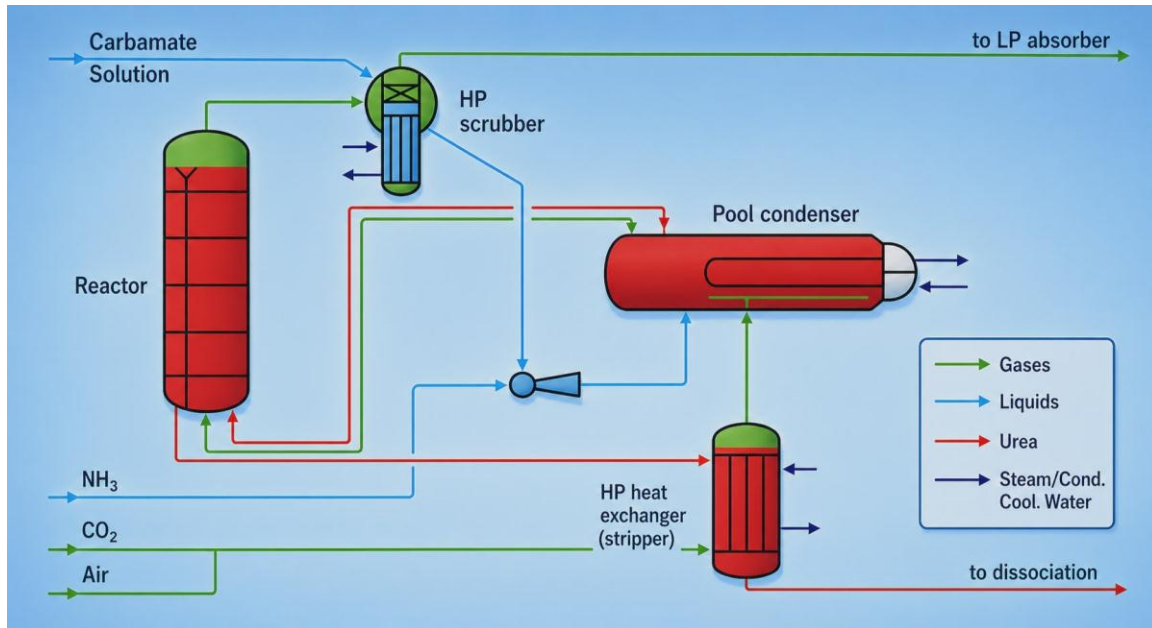


Figure III.2. Procédé de décomposition au CO₂ STAMICARBON

III.4. Le mécanisme de décomposition

Le chauffage des tubes garantit que la décomposition, dans une première approximation, est un procédé isothermique (température constante). La composition du liquide alimentant le décomposeur HP est représentée par le point L1. Il s'agit d'une composition proche de l'isobare de l'équilibre chimique. L'alimentation gazeuse du décomposeur HP constitué de CO₂ pur et quelques inertes, représentée par le point G1. La composition brute de l'alimentation liquide et gazeuse vers le décomposeur HP est désormais représentée par C sur la ligne reliant G1 et L1.

En partant de la loi sur la conservation de la matière, il s'ensuit que la composition du liquide + gaz sortant du décomposeur HP doit désormais également être sur une ligne passant par le point C. En partant du principe que le procédé est isothermique, (ce qui, pour une première approximation, est vrai), une composition possible pour le liquide sortant du décomposeur HP serait L₂. Ici, le gaz quittant le décomposeur HP sera représenté par le point G₂.

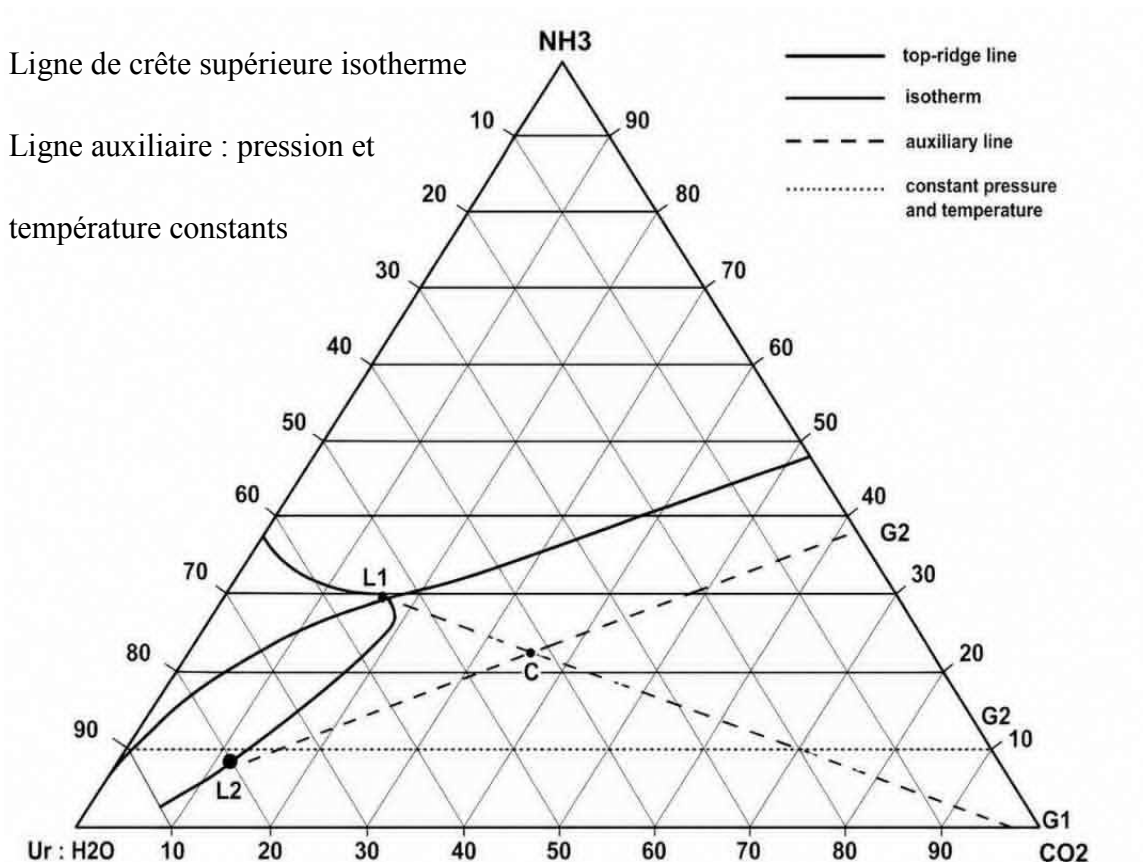


Figure III.3. Décomposition de la solution de synthèse d'urée avec CO₂

Une phase gazeuse en équilibre avec L₂ est représentée par le point G₂. La phase gazeuse réelle dans le bas du décomposeur HP étant représentée par le point G₁, il s'ensuit qu'une force motrice permet l'élimination du NH₃ à partir de la phase liquide L₂. Ce raisonnement étant vrai pour toutes les compositions liquides sur les isothermes, cela signifie qu'en théorie, toute composition liquide peut être obtenue sur cette isotherme, comme solution de sortie du décomposeur HP. Selon la figure, cela explique le fait que des compositions très pauvres en NH₃ et en CO₂ peuvent être obtenues dans le décomposeur HP.

En pratique, la concentration en NH₃ et en CO₂ dans le décomposeur HP est limitée par la taille du décomposeur HP. De plus, particulièrement dans la partie basse des tubes, le procédé n'est plus isotherme. Au contraire, le CO₂ relativement frais introduit dans la partie basse est à l'origine d'un certain refroidissement du liquide s'écoulant le long des parois des tubes.

Cet effet de refroidissement dans la partie basse prédomine sur le chauffage par la vapeur dans la partie calandre. Le résultat net est que le liquide sortant du décomposeur HP est sensiblement plus frais, en comparaison avec le liquide introduit, et ce malgré le système de chauffage par la vapeur.

Une augmentation plus importante de la taille du décomposeur HP afin de parvenir à une efficacité de décomposition encore plus élevée ne serait pas justifiée, non seulement d'un point de vue économique, mais également parce que l'apparition des deux réactions de chaque côté empêche une efficacité de décomposition plus faible.[1,5,9]

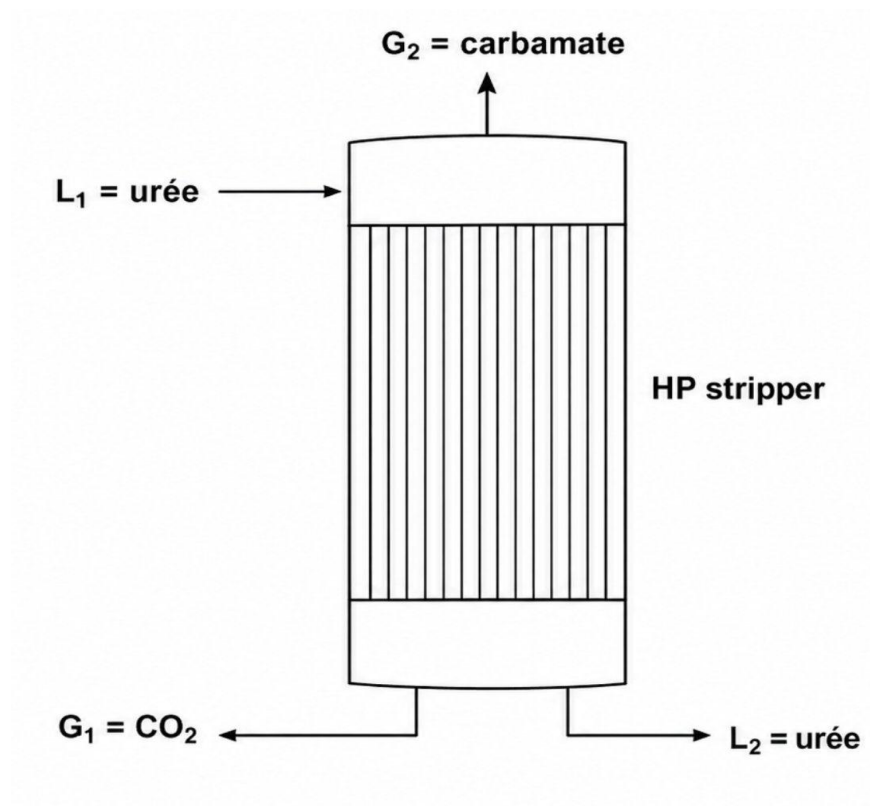


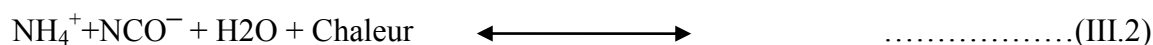
Figure.III.4. Étape d'équilibre théorique dans le décomposeur HP.

III.5. Le fonctionnement de décomposeur HP 022E001

Le décomposeur HP 022E001 constitue un élément essentiel de la colonne d'extraction haute pression. Il s'agit d'un appareil cylindrique de 3 m de diamètre, contenant 4 715 tubes d'une longueur de 6 m chacun. Son rôle est d'éliminer le carbamate d'ammonium non converti présent dans la solution d'urée quittant le réacteur, tout en maintenant les

conditions de haute pression du procédé. Cet équipement fonctionne comme un échangeur de chaleur vertical à film tombant. La solution d'urée s'écoule à l'intérieur des tubes, tandis que l'extérieur de ces derniers est chauffé par de la vapeur HP saturée, généralement fournie par une unité voisine d'ammoniac, avec une pression d'environ 20,7 bar. Cette alimentation thermique permet d'assurer la décomposition du carbamate. L'introduction de CO_2 à une température relativement faible ($\approx 110^\circ\text{C}$), combinée à une détente adiabatique modérée, engendre une diminution progressive de la température du liquide circulant le long des tubes. Ainsi, la température passe d'environ 186°C en tête du décomposeur à 174°C en partie basse. À l'intérieur des tubes, le carbamate d'ammonium se dissocie en ammoniac et dioxyde de carbone. Le flux de CO_2 à contre-courant entraîne les gaz produits vers le condenseur de carbamate HP, ce qui intensifie davantage la décomposition du carbamate résiduel.

Dans les procédés traditionnels de recyclage total, cette décomposition nécessitait une réduction de pression, suivie d'une condensation des gaz par ajout d'eau, afin de reformer une solution de carbamate qui était ensuite recyclée. L'utilisation d'un gaz d'entraînement (CO_2) dans le procédé actuel permet d'éviter cette étape contraignante et d'améliorer l'efficacité globale. La faible concentration d'ammoniac dans la phase liquide déplace l'équilibre de dissociation du carbamate vers la formation de NH_3 et CO_2 . La chaleur requise pour cette réaction endothermique est fournie par la condensation de la vapeur à l'extérieur des tubes, maintenant ainsi la phase liquide à la température d'ébullition nécessaire au bon déroulement du procédé.



2. La formation de biuret

Le biuret est un composé obtenu par condensation de deux molécules d'urée et élimination d'une molécule d'ammoniac. Dans les conditions normales de température et pression, il apparaît sous forme d'un solide blanc, soluble dans l'eau chaude et se décomposant de 186 à 189 °C, conformément à l'équation :



Cette réaction apparaît lors de la phase de concentration et de cristallisation lors de la production industrielle de l'urée comme engrais. Le biuret étant un toxique pour les végétaux, sa teneur dans les engrais azotés doit être inférieure à 1,2 %.[1,9]

III.6. Efficacité du décomposeur (α)

Efficacité de décomposeur (α) : est le rapport entre le nombre de moles d'ammoniac qui ont contribué à la conversion en urée et le nombre total de moles d'azote dans le système de réaction, à la sortie du décomposeur . [3,13,1]

Le calcul de rendement de décomposition (α) est donner par la formule (III.1)

$$\alpha = \frac{\frac{2 \times \% \text{ d'urée en poids}}{M \text{ urée}}}{\frac{2 \times \% \text{ d'urée en poids}}{M \text{ urée}} + \frac{\% \text{ de NH}_3 \text{ en poids}}{M \text{ NH}_3}} \dots\dots\dots(\text{III.1})$$

Nous avons indiqué sur le tableau (III.1) les compositions massiques du liquide à l'entrée et à la sortie du décomposeur pour effectuer le calcul du rendement du décomposeur pour les deux cas design et actuel.

Tableau III.1. Les compositions massiques des entrants et des sortants du décomposeur (design /actuel)

Composant	Analyse du liquide à l'entrée du décomposeur HP 022E001		Analyse du liquide à la sortie du décomposeur HP 022E001	
	Design	Actuel	Design	Actuel
NH3	31% en poids	31% en poids	8.7% en poids	9 % en poids
CO2	17.1% en poids	17.11% en poids	10.9% en poids	11% en poids
L'urée	33.4% en poids	33.41% en poids	54.2% en poids	53% en poids
H2O	18.4% en poids	18.38% en poids	26 % en poids	26,73% en poids

✓ **Calcul le rendement du décomposeur HP « cas design »**

$$\alpha = \frac{\frac{2 \times 54.2\%}{60}}{\frac{2 \times 54.2\%}{60} + \frac{8.7\%}{17}}$$

$$\alpha = 0.78$$

✓ **Calculle rendement du décomposeur HP « cas actuel »**

$$\alpha = \frac{\frac{2 \times 53\%}{60}}{\frac{2 \times 53\%}{60} + \frac{9\%}{17}}$$

$$\alpha = 0.77$$

Calcul de bilan massique du décomposeur HP 022E001

Dans cette partie, nous allons traiter le bilan de matière sur le décomposeur HP pour déterminer la composition du l'urée et carbamate à la sortie. Avant d'entamer le bilan massique, nous allons calculer les débits massiques à l'entrée et à la sortie de chaque

constituant. Les calculs se feront sur la boucle de synthèse de l'urée pour les deux situations du design et actuel.

A partir des fractions massiques prélevées depuis la salle de contrôle et les analyses au laboratoire, nous calculons les débits massiques G_i de chaque constituant. On utilise la relation (III.2).

$$G_i = X_i \cdot G_T \dots\dots\dots (III.2)$$

Avec :

G_T : débit massique total [Kg\h]

X_i : fraction massique de constituant i.

M_i : masse moléculaire moyenne de constituant i [g\mol]

Calcul de bilan massique Cas design

Calcul le débit massique à l'entré

Le débit massique est déterminé par la relation (III.2).

$$G_{urée} = X_{urée} \cdot G_T$$

$$G_{urée} = 0.3341 \cdot 458889,6$$

$$G_{urée} = 153315,010$$

En utilisant les données de tableau (III.1) ainsi que la relation (III.2) pour calculer les débits massiques de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur (cas design). Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau (III.2).

Tableau III.2. Analyse de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.

Constituants	Masse moléculaire Mi	La solution d'urée entrant		La solution d'urée sortant	
		Xi	Gi	Xi	Gi
Urée	60.06	33.4	153315.010	54.2	143275.940
Biuret	103.08	0.19	504.770	0.23	608.446
CO ₂	44.01	17.11	78516.010	10.93	28914.440
NH ₃	17.03	31	142255.770	8.7	22909.330
H ₂ O	18.02	18.4	84343.900	26.0	68754.460
O ₂	32.00	/	/	0.02	52.900
N ₂	28.00	/	/	0.005	13.227
Total	/	100	458889.6	100	264542

En réalisant le même raisonnement pour le calcul du débit de CO₂. Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau (III.3)

Tableau III.3. Analyse du courant gazeux de CO₂ et de carbamate à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.

Constituants	Masse moléculaire Mi	Le courant gazeux de CO ₂ entrant		Le courant gazeux de carbamate sortant	
		Xi	Gi	Xi	Gi
Urée	60.06	/	/	/	/

Biuret	103.08	/	/	/	/
CO ₂	44.01	98.679	104611.26	53.65	1611427.568
NH ₃	17.03	/	/	41.60	124979.04
H ₂ O	18.02	1.2	127.212	4.23	12705.151
O ₂	32.00	0.22	233.223	0.33	210.250
N ₂	28.00	0.98	1038.904	0.07	911.182
Total	/	100	106010.60	100	300358.20

A partir des résultats des calculs en a rempli le tableau (III.4)

Tableau III.4. Récupération des résultats

Le débit massique de solution d'urée entrant	458889,6
Le débit massique de courant gazeux de CO ₂ entrant	106010,60
Le débit massique total entrant	564900,2
Le débit massique de solution d'urée sortant	264542
Le débit massique de courant gazeux de CO ₂ sortant	300358,20
Le débit massique total sortant	564900,2

Interprétation

D'après les résultats obtenus, on remarque que le débit massique total entrant égal débit massique total sortant donc la quantité de matière est conservée au sein de décomposeur HP.

Calcul le bilan massique Cas actuel

Calcul le débit massique à l'entrée

Le débit massique est déterminé par la relation (III.2).

$$G_{urée} = X_{urée} \cdot G_T$$

$$G_{urée} = 0,3341 \cdot 458889,6$$

$$G_{urée} = 153315,01$$

En utilisant les données de tableau (III.1) ainsi que la relation (III.2) pour calculer les débits massiques de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur (cas actuel). Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau (III.5).

Tableau III.5. Analyse de la solution d'urée à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.

Constituants	Masse moléculaire Mi	La solution d'urée entrant		La solution d'urée sortant	
		Xi	Gi	Xi	Gi
Urée	60.06	33.41	153315,01	53	140166,80
Biuret	103.08	0.11	504,778	0.25	661.16
CO ₂	44.01	17,11	78470,12	11	29091,22
NH ₃	17.03	31	142255,7	9	23801,91
H ₂ O	18.02	18,38	84343,91	26,73	70744,56
Total	/	100	458889,6	100	264465,67

En réalisant le même raisonnement pour le calcul du débit de CO₂. Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau (III.6).

Tableau III.6. Analyse du courant gazeux à l'entrée et à la sortie du décomposeur HP.

Constituants	Masse moléculaire Mi	Le courant gazeux de CO₂ entrant		Le courant gazeux de carbamate sortant	
		Xi	Gi	Xi	Gi
Urée	60.06	/	/	/	/
Biuret	103.08	/	/	/	/
CO₂	44.01	98,5	103888,97	53,76	161557,6
NH₃	17.03	/	/	41,61	125044,9
H₂O	18.02	/	/	4,23	12711,84
Inerte	/	1.5	1582,06	0,4	1202,066
Totale	/	100	106010	100	300516,50

A partir des résultats des calculs on a rempli le tableau (III.7).

Tableau III.7 Récapitulation des résultats

Le débit massique de solution d'urée entrant	458889,6
Le débit massique de courant gazeux de CO₂ entrant	105471,04
Le débit massique total entrant	564360,64
Le débit massique de solution d'urée sortant	264465,67
Le débit massique de courant gazeux de CO₂ sortant	300516,50
Le débit massique total sortant	564982,17

Interprétation

Il y a une légère augmentation à la sortie de décomposeur au cours du fonctionnement et cela peut être expliqué par l'accumulation des gaz inertes qui ne sont pas dégazés via la vanne au sommet de décomposeur.

Le débit massique total à l'entrée du décomposeur est de 564 360,64 kg/h, tandis que le débit massique total à la sortie est de 564 982,17 kg/h. La différence observée (621,53 kg/h) est très faible ($\approx 0,11\%$), ce qui indique que le bilan massique est globalement respecté et que les calculs sont cohérents. On constate également que le débit de la solution d'urée diminue de 458 889,6 kg/h à 264 465,67 kg/h, tandis que le débit du courant gazeux riche en CO₂ augmente de 105 471,04 kg/h à 300 516,50 kg/h. Cette évolution s'explique par la décomposition du carbamate d'ammonium sous l'effet du CO₂ injecté à contre-courant, libérant des gaz (NH₃ et CO₂) qui rejoignent la phase gazeuse.

➤ Comparaison des résultats entre le cas design et le cas actuel

En comparant la quantité de la matière totale entrant et sortant dans le cas actuel qui se représente dans le tableau (III.8).

Tableau III.8. Comparaison entre le débit massique entrant et sortant

Le débit massique	Cas design	Cas actuel	Comparaison
Le débit massique total entrant	564900,2	564360,64	539.56
Le débit massique total sortant	564900,2	564982,17	81,97

En comparant la quantité de la matière entre l'entrée et la sortie de l'urée et du biuret dans le cas actuel qui se représente dans le tableau(III.9).

Tableau III.9. Comparaison entre le débit de l'urée et de biuret entrant et sortant.

Constituants	Débit massique entrant	Débit massique sortant	Comparaison
Urée	153315,01 kg/h	140166,80 kg/h	13148,13 Kg/h
Biuret	504,778 kg/h	661,16kg/h	156,382 kg/h

Interprétation

D'après les résultats obtenus, on conclure que ; Théoriquement, il y a que la réaction de décomposition de carbamate au sein de l'équipement mais on réalité il y a deux réactions qui ne sont pas favorable ; l'hydrolyse de l'urée et la formation de biuret et cela due aux conditions qui gouvernent le fonctionnement.

➤ Hydrolyse

L'hydrolyse de l'urée est due à la présence de quantité suffisante d'eau et manque d'ammoniac dans la solution d'urée descendent en bas de l'équipement.

➤ La formation de biuret

Pendant la formation d'urée, le biuret se forme comme un dérivé et cela expliqué par l'augmentation de la concentration d'urée au sein du décomposeur en plus le temps de séjour est long à température élevée.

Conclusion générale

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la collaboration entre le Département de Génie des Procédés de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem et le complexe SORFERT Algérie. Il a porté sur l'étude du décomposeur haute pression 022E001 de l'unité d'urée, un équipement essentiel dans le procédé de synthèse de l'urée, afin d'évaluer ses performances réelles et de les comparer aux conditions de conception. L'analyse des données de fonctionnement a montré que la composition de la solution à l'entrée du décomposeur est constituée d'environ 31 % de NH_3 , 17,11 % de CO_2 , 33,41 % d'urée et 18,38 % d'eau. À la sortie, les teneurs deviennent respectivement 8,66 % de NH_3 , 11 % de CO_2 , 54 % d'urée et 26 % d'eau. Ces résultats mettent en évidence une diminution significative des concentrations de NH_3 et de CO_2 ainsi qu'une augmentation notable de la concentration en urée, ce qui confirme l'efficacité du décomposeur dans la décomposition du carbamate d'ammonium résiduel et la récupération des réactifs non convertis. La comparaison entre les valeurs réelles et les valeurs de conception a révélé des écarts très faibles, indiquant que l'équipement fonctionne dans des conditions proches de celles prévues lors de sa conception. Par conséquent, il peut être conclu que le décomposeur HP 022E001 est en bon état de fonctionnement, présente des performances satisfaisantes et contribue efficacement à l'optimisation du procédé de production d'urée au sein du complexe SORFERT.

En conclusion, cette étude constitue une contribution importante à la compréhension du comportement réel du décomposeur haute pression au sein du complexe SORFERT. Elle ouvre également la voie à des travaux futurs visant à approfondir l'analyse du fonctionnement de l'unité et à proposer des stratégies d'amélioration plus avancées, dans le but d'optimiser davantage le rendement du procédé et de réduire les coûts énergétiques.

Références bibliographiques

- [1] Appl, M., Ammonia: Principles and Industrial Practice, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Allemagne.
- [2] International Fertilizer Association (IFA), Fertilizer Outlook and Technology Reports, IFA Publications, Paris, France, 2023.
- [3] Perry, R.H., Green, D.W. et Southard, M.Z., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 9e édition, McGraw-Hill Education, New York, États-Unis, 2019.
- [4] Austin, G.T., Shreve's Chemical Process Industries, 5e édition, McGraw-Hill Book Company, New York, États-Unis, 1984.
- [5] European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), Production of Urea and Urea-Ammonium Nitrate: Best Available Techniques Booklet, EFMA, Bruxelles, Belgique, 2000.
- [6] Ullmann, F. (Ed.), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Urea, 7e édition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Allemagne, 2012.
- [7] International Fertilizer Association (IFA), Technical Data on Urea Fertilizers, IFA Publications, Paris, France.