



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2025

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : INDUSTRIES PETROCHIMIQUES**

**Option : GENIE PETROCHIMIQUE**

### Thème

**Conception d'une station de dissolution d'urée par valorisation des condensats issus de la colonne C101 de l'absorption de formaldéhyde au complexe CP1/Z**

**Présenté par**

1-DJOUED ABDEL DJALIL

2-BENAISSA MOHAMED ELMENAOUAR

Soutenu le 25 /06 / 2025 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	MEZOUAGH Amina	MCA	Université de UMAB
<b>Examineur :</b>	BELARBI ILhem	MCB	Université de UMAB.
<b>Rapporteur :</b>	LARBI N.E.Houda	MCB	Université de UMAB

Année Universitaire 2024/2025

---

## REMERCIEMENTS

---

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration et à la réussite de ce mémoire de fin d'études.

Nous remercions tout particulièrement **Dr.LARBI Nour El Houda**, notre encadrante, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa bienveillance et son accompagnement tout au long de ce travail. Son expertise et ses remarques pertinentes ont grandement enrichi notre réflexion.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury de soutenance : **Dr. MEZOUAGH Amina**, présidente du jury, et **Dr. BELARBI Ilhem**, examinatrice, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi que pour leurs observations constructives et leurs précieux commentaires qui nous ont permis d'approfondir notre analyse.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du corps enseignant d'**Abdelhamid Ibn Badis** pour la qualité des enseignements dispensés tout au long de notre formation.

Nous n'oublions pas les personnes du complexe **CP1/z** qui nous ont accueillis durant notre stage, ainsi que toutes celles qui nous ont guidés et soutenus pendant cette période.

Enfin, nous souhaitons remercier du fond du cœur nos familles, nos amis et toutes les personnes chères à nos côtés, pour leur soutien moral, leur patience et leur encouragement sans faille.

À toutes et à tous, merci.

---

## DEDICACES

---

À Toi, Seigneur, source de lumière et de sagesse,  
Merci de m'avoir guidé(e) dans chaque pas, même ceux que je ne comprenais pas.

À mes parents,  
Piliers de mon existence, vous êtes mon ancrage dans la tempête et ma force dans l'effort.  
Votre amour silencieux, vos prières constantes, vos sacrifices innombrables...  
Je vous dois bien plus que ces quelques pages.

À mes frères et sœurs,  
Merci pour vos mots simples, vos regards complices et vos silences pleins de sens.  
Vous êtes mon refuge et ma source de courage.

À mes enseignants et encadrants,  
Merci pour votre générosité intellectuelle et humaine.  
Vous m'avez transmis bien plus que des connaissances : une exigence, une rigueur, une passion.

À mes amis sincères,  
Merci pour vos rires, vos conseils, vos épaules. Vous avez su rendre ce parcours plus doux,  
même dans les heures sombres.

Et enfin, à l'étudiant que j'étais, à celui/celle que je deviens :  
Continue de croire, d'oser, de rêver.  
Car chaque fin est le début d'un nouveau chapitre.

Dédié par DJOUED Abdel Djalil

---

---

## DEDICACE

---

---

À mes chers parents,  
Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices, votre patience et votre soutien constant.  
Ce travail est avant tout le fruit de votre présence à mes côtés. Merci du fond du cœur.

À mon collègue et ami DJOUED Abd Eldjalil,  
Avec qui j'ai partagé cette expérience, dans l'effort comme dans la réussite. Merci pour  
ton sérieux, ta persévérance et ta précieuse collaboration.

À mon amie REBAHI Sarah,  
Pour ton soutien, ta bienveillance et ta présence encourageante tout au long de ce  
parcours.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin,  
Je vous dédie humblement ce travail.

Dédié par BENAÏSSA Mohamed.

---

## *Résumé*

---

Le présent travail consiste à concevoir une station de dissolution d'urée en réutilisant les effluents liquides de l'unité de production de formaldéhyde. Ces eaux sont produites par condensation dans la colonne d'absorption du formaldéhyde par l'urée appelées ainsi les eaux de condensats.

Dans un premier temps, nous avons étudié les besoins ainsi que les problèmes liés au procédé de dissolution actuelle afin de justifier le choix des équipements et leurs caractéristiques.

Par la suite, différents calculs et bilan de matière ont été effectués pour déterminer la quantité des rejets et la quantité utilisée pour la dissolution d'urée à 55% et 71%.

Ensuite, nous avons effectué une étude de dimensionnement sur les différents éléments qui constituent notre système de dissolution choisie afin d'obtenir les caractéristiques optimales.

Cette étude nous a permis finalement de procéder à une estimation du coût de réalisation de la nouvelle station de dissolution d'urée.

**Mots Clés :** Dissolution, urée, condensat, TC3, réutilisation

---

---

# TABLE DES MATIERES

---

---

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

## *CHAPITRE I :*

### *PRESENTATION DU COMPLEXE CP1/Z*

<b>I.1. Présentation du complexe CP1 /Z.....</b>	<b>3</b>
I.1.1 Historique du complexe CP1/Z.....	3
I.1.2. Situation géographique du complexe.....	3
I.1.3. Activités principales du complexe.....	3
I.1.4. Organigramme du complexe CP1/z.....	5
<b>I.2. Département de production P2.....</b>	<b>5</b>
I.2.1. Matières premières.....	6
I.2.2. Auxiliaires de production.....	9
I.2.3. Spécifications techniques du catalyseur .....	9
I.2.4. Service résines synthétiques (U100).....	9

## *CHAPITRE II :*

### *PROBLEMATIQUES*

<b>II.1. Caractéristiques d'urée solide .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Effet du stockage sur la dégradation d'urée .....</b>	<b>18</b>
<b>II.3. Description du procédé de dissolution actuelle.....</b>	<b>19</b>
<b>II.4. Problème lié au procédé .....</b>	<b>20</b>
<b>II.5. Problématique.....</b>	<b>20</b>
<b>II.5.1 Résultats et discussion .....</b>	<b>21</b>
<b>II.6. Solution proposée.....</b>	<b>24</b>
<b>II.7. Liste des équipements.....</b>	<b>25</b>
<b>II.8. Choix des spécifications des équipements .....</b>	<b>25</b>
<b>II.8.1. Choix de l'agitateur.....</b>	<b>25</b>

<b>II.9. Dimensionnement des équipements .....</b>	<b>29</b>
<b>II.9.1. Dimensionnement du bac de stockage .....</b>	<b>28</b>
<b>II.9.2. Dimensionnement de l'agitateur .....</b>	<b>30</b>
<b>II.9.3. Dimensionnement en ligne enchemisée.....</b>	<b>35</b>
<b>II.10. Estimation du cout de réalisation.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>38</b>
<b>Recommandations.....</b>	<b>39</b>
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	

---

# LISTE DES TABLEAUX

---

## *CHAPITRE I : PRESENTATION DU COMPLEXE CPI/Z*

<b>Tableau I.1 :</b> Identification du méthanol .....	6
<b>Tableau I.2 :</b> Propriétés physiques du méthanol .....	7
<b>Tableau I.3 :</b> Thermochimie du méthanol .....	7
<b>Tableau I.4 :</b> Tableau technique de catalyseur.....	9
<b>Tableau I.5 :</b> Spécifications formurée a 80% (UFC 80%).....	16
<b>Tableau I.6 :</b> Spécifications urée solide.....	16

## *CHAPITRE II : PROBLEMATIQUES*

<b>Tableau II.1 :</b> Caractéristiques d'urée solide .....	18
<b>Tableau II.2 :</b> Composition des gazes réagis .....	21
<b>Tableau II.3 :</b> Composition des gazes sortants .....	21
<b>Tableau II.4 :</b> Composition du produit sortant (formurée).....	21
<b>Tableau II.5 :</b> Composition d'urée entrant .....	22
<b>Tableau II.6 :</b> Caractéristique des eaux de condensats et l'eau déminéralisée.....	23
<b>Tableau II.7 :</b> Caractéristiques du bac de stockage.....	30
<b>Tableau II.8 :</b> Proportions géométrique pour un système d'agitation standards.....	33
<b>Tableau II.9 :</b> Cousts d'acquisition de la station .....	37

---

# LISTE DES FIGURES

---

## *CHAPITRE I : PRESENTATION DU COMPLEXE CPI/Z*

<b>Figure I.1</b> : Schéma d'implantation des équipements.....	4
<b>Figure I.2</b> : Organigramme du complexe.....	5
<b>Figure I.3</b> . Schéma de département P2.....	5
<b>Figure I.4</b> : Processus de méthanol.....	8
<b>Figure I.5</b> : Structure d'urée.....	8
<b>Figure I.6</b> : Ventilateur FP101 .....	10
<b>Figure I.7</b> : Anneau PALL 35 × 35.....	10
<b>Figure I.8</b> : Structure du formaldéhyde .....	11
<b>Figure I.9</b> : Description de la phase gazeuse du procédé formaldéhyde/formurée.....	12
<b>Figure I.10</b> : Schéma de procédé de fabrication de F36 et UFC80 « U100 ».....	13
<b>Figure I.11</b> : Structure du mono-méthylol-urée .....	14
<b>Figure I.12</b> : Colonne d'absorption C101 .....	15
<b>Figure I.13</b> : Description du procédé de fabrication de la résine .....	17

## *CHAPITRE II : PROBLEMATIQUES*

<b>Figure. II.1</b> : Présentation schématique des types d'écoulements. [HERNBAY ET AL1985]. .....	26
<b>Figure II.2</b> : Suspension solide-liquide.....	27

---

## LISTE DES ABREVEATIONS

---

<i>SYMBOLE</i>	<i>SIGNIFICATION</i>	<i>UNITE</i>
<i>H</i>	Hauteur	<i>m</i>
<i>D<sub>N</sub></i>	Diamètre nominal	<i>m</i>
<i>N</i>	Vitesse	<i>m/s</i>
<i>D<sub>i</sub></i>	Diamètre intérieur	<i>m</i>
<i>Q<sub>V</sub></i>	Débit volumique	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
<i>Q<sub>V</sub></i>	Débit de pompage	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
<i>P</i>	Puissance	<i>Kw</i>
<i>D<sub>ex</sub></i>	Diamètre extérieur	<i>m</i>
<i>Da</i>	Diamètre de l'agitateur	<i>m</i>
<i>Dp</i>	Diamètre de la particule	<i>m</i>
<i>Np</i>	Nombre de puissance	
<i>N/N<sub>j.s</sub></i>	Vitesse de rotation	<i>tr/min</i>
<i>V</i>	Volume	<i>m<sup>3</sup></i>
<i>Nq</i>	Nombre de pompage	
<i>μ</i>	Viscosité dynamique	<i>Pa.s</i>
<i>T</i>	Diamètre de la cuve d'agitation	<i>m</i>
<i>P</i>	Masse volumique	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>A</i>	Coefficient de frottement	
<i>Ξ</i>	Coefficient de singularité	
<i>Φ</i>	Fraction volumique	
<i>S</i>	Surface	<i>m<sup>2</sup></i>
<i>Y</i>	Viscosité cinématique	<i>Pa.s</i>
<i>L</i>	Longueur	<i>m</i>
<i>Leq</i>	Longueur équivalente	<i>m</i>
<i>E</i>	Epaisseur	<i>m</i>
<i>Re</i>	Nombre de Reynolds	
<i>S</i>	Coefficient de Zwietering	
<i>G</i>	Pesanteur	<i>9.8 m/s<sup>2</sup></i>
<i>m<sub>s</sub></i>	Masse du solide	<i>kg</i>

$m_L$	Masse du liquide	$kg$
$\rho_m$	Masse volumique du mélange	$Kg/m^3$
$\rho_s$	Masse volumique du solide	$Kg/m^3$
$\rho_L$	Masse volumique du liquide	$Kg/m^3$
$\mu_g$	Viscosité dynamique du gaz	$Pa.s$
$C_w$	Concentration massique	$m/s$
$C_v$	Concentration volumique	$Kg/s$
$C_p$	Chaleur spécifique	$j/kg.k$
$E$	Efficacité d'échangeur	
$U$	Coefficient d'échange globale	

---

---

# **INTRODUCTION**

---

---

## INTRODUCTION

Le développement industriel et l'accroissement de la pollution qu'elle engendre sont deux phénomènes parallèles et continus qui ont pour conséquences, d'une part, l'augmentation de la production et la recherche d'une qualité meilleure avec une grande concurrence, et d'autre part, l'accroissement de la consommation accompagnée du gaspillage. Les deux ayant pour conséquence l'augmentation du volume de déchets avec des graves incidences sur l'environnement.

Les industries pétrochimiques génèrent quotidiennement des volumes importants de ces déchets parmi elles les eaux usées, du fait des résidus de production mais aussi de l'utilisation de produits de lavage. Ces rejets industriels, en plus d'être chargés en matière organique, contiennent des polluants indésirables comme le formaldéhyde.

Dans un monde où la demande en eau douce augmente sans cesse, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion de ces eaux usées.

La gestion d'amélioration des eaux usées implique aussi bien la réduction de la pollution à la source que l'élimination de contaminants des flux d'eaux usées, la réutilisation des eaux récupérées et la récupération de sous-produits utiles. Ensemble, ces quatre actions entraînent des avantages sociaux, environnementaux et économiques pour l'industrie dans son intégralité, et contribuent au bien-être général et à la santé, ainsi qu'au développement durable.

Il est donc essentiel d'accroître l'acceptation sociale de l'utilisation des eaux usées afin de favoriser le progrès dans ce sens. C'est en cela que notre projet d'étude.

## CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Lors de la production de l'UFC80, nous avons remarqué qu'au cours de ce procédé se génère une grande quantité d'eau usée appelé condensat au niveau du tronçon TC3 de la colonne d'absorption C101. Ces condensats contiennent des traces de formaldéhyde, d'urée et une grande quantité d'eau environs 95% de la composition globale.

La composition attractive de ses condensats nous a laissé nous pencher sur l'étude d'une solution pour leur réutilisation. L'hypothèse qu'on a choisie d'étudier est l'utilisation de ces condensats dans la dissolution d'urée.

À l'heure actuelle, la dissolution d'urée est effectuée dans une cuve ouverte en utilisant l'eau déionisée. Ce système, bien que fonctionnel, comporte plusieurs faiblesses. Ces

nombreuses déficiences avec le rejet d'une quantité considérable de condensat formeront la problématique industrielle qui est à la base du projet.

## **OBJECTIF DE L'ETUDE :**

Le présent travail consiste à concevoir pour les besoins de notre problématique, une nouvelle station de dissolution munie d'un système de manutention pneumatique. Pour mener à bien notre étude, nous avons dans un premier temps redéfini les besoins et étudié les solutions envisageables afin de justifier le choix de la solution retenue. Ensuite, nous avons ressorti les dessins d'ensemble et de définitions du système conçu et enfin, nous avons dimensionné des différents éléments du système afin d'obtenir les caractéristiques optimales et d'ajuster les dessins de définition.

Cette étude nous a permis finalement d'évaluer le coût de réalisation du système envisager pour la réutilisation des eaux de condensat dans la dissolution de l'urée. Montant largement minimisé qui encourage la mise en œuvre de cette étude.

## **METHODOLOGIE DE TRAVAIL**

Ce mémoire s'articule autour de quatre piliers qui sont l'étude bibliographique, la description du dispositif expérimental, l'analyse des résultats et leur interprétation théorique.

Notre travail se présente en deux parties :

✓ Dans le premier chapitre on fait une présentation de notre complexe CP1/Z et plus précisément le département de production P2 afin de pouvoir localiser et de comprendre exactement le problème abordé dans notre étude.

✓ Dans le deuxième chapitre on définit les points suivants :

- 1\ Le procédé de dissolution actuelle et les nombreuses défaillances qu'il présente.
- 2\ Le calcul des quantités de condensat rejeté.
- 3\ Le troisième point de ce chapitre présente la solution proposée ainsi que l'étude et le dimensionnement de la station de dissolution en essayant de minimiser le plus possible les problèmes actuels.

Enfin, nous concluons en rassemblant l'ensemble des résultats acquis au cours de cette étude.

# **Chapitre I**

---

## **Présentation du Complexe**

**CP1/Z**

---

## **I.1. Présentation du complexe CP1 /Z [1]**

### **I.1.1 Historique du complexe CP1/z : [1]**

Dans le cadre de la politique d'industrialisation du pays et du développement de l'économie nationale, la société nationale SONATRACH et la société italienne SIR donnèrent naissance en 1969 à la société mixte ALMER dont le premier projet sera le complexe méthanol et résines synthétiques.

L'objectif de ce complexe est la production de méthanol et de résines synthétiques. Le 10 septembre 1970, ALMER signe un contrat avec la société HUPPHREYS et GLASGOW pour la construction de l'unité méthanol, contrat qui rentrera en vigueur en février 1971.

En novembre 1971, la société ALMER fut dissoute ; SONATRACH poursuivit la réalisation du projet en signant deux contrats avec la société italienne ITALCONSULT, le premier en 1972 pour la construction des utilités et le second contrat en 1973 pour celle des unités de production de résines.

Issue de la restructuration de SONATRACH, l'Entreprise Nationale de Pétrochimie a été créé par le décret n°83-410 du 06 Aout 1983, portant auparavant la création de l'entreprise nationale des industries pétrochimiques (ENIP) dont la mission devrait être la prise en charge des activités pétrochimiques et phytosanitaires.

### **I.1.2 Situation géographique du complexe : [1]**

Le Complexe Méthanol et résines synthétiques occupe une étendue de 27 hectares sur le plateau du MOHGOUN dominant la baie d'Arzew. Il est situé au nord de la Raffinerie à deux Kilomètre de la ville. Il est desservi par la route nationale Oran-Arzew-Mostaganem.

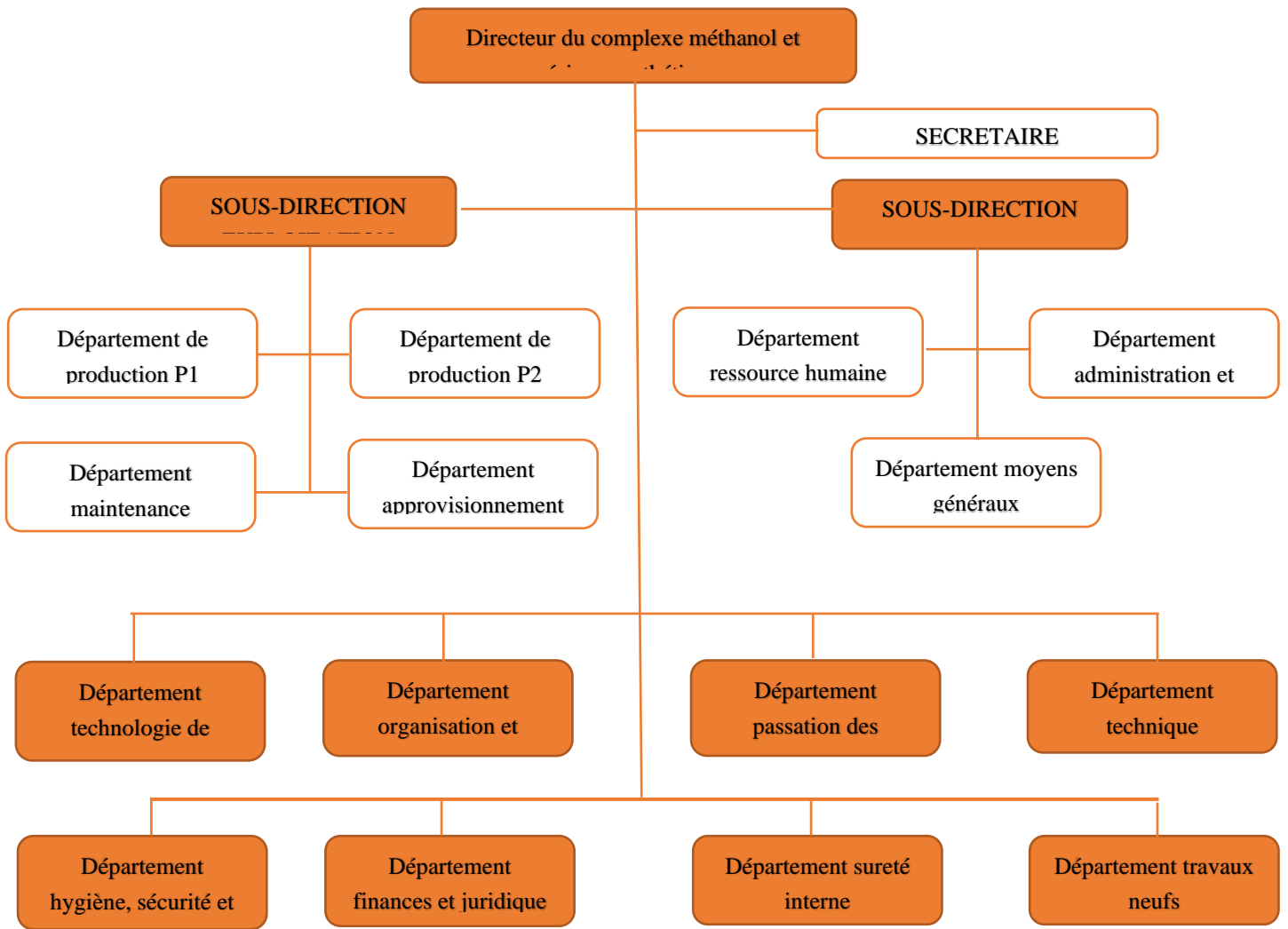
### **I.1.3 Activités principales du complexe : [2]**

Le complexe CP1/Z a pour activité la prise en charge de toute opération de transformation chimique des hydrocarbures liquides ou gazeux ainsi que leurs dérivés pour la production de produits pétrochimiques de base et des produits finis destinés au marché national et à l'exportation. Jusqu'à la fin des années 90 et avant l'arrêt de la production de quelques unités suite aux problèmes de commercialisation et obsolescence des produits, le complexe produisait les produits suivants : [1]

- Méthanol, Grade A
- Formaldéhyde 36 %



## I.1.4 Organigramme du complexe CP1/z : [3]



## I.2 Département de Production P2 : [3]

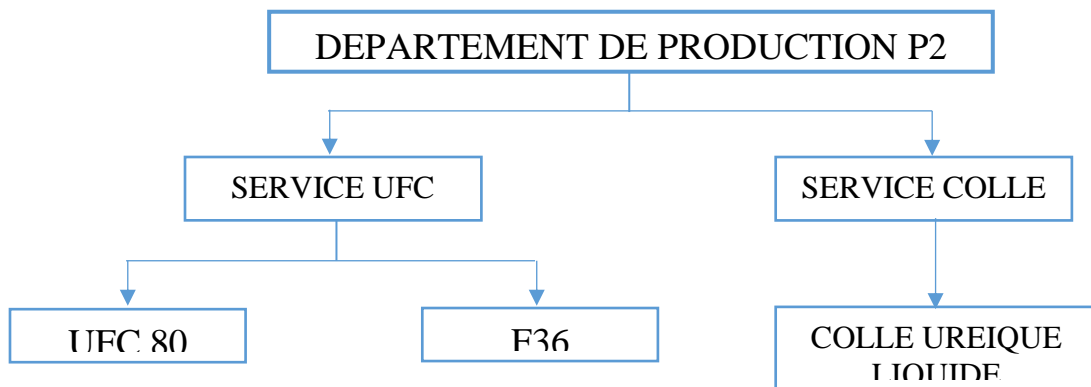


Figure I.3 : Schéma de département P2

## I.2.1 Matières premières : [4]

Les matières premières utilisés sont :

- Méthanol
- Oxygène
- Urée en solution
- Eau déminée
- Soude

### I.2.1.1 unité méthanol :

Le méthanol est produit à partir du méthane  $\text{CH}_4$  et de vapeur d'eau pour obtenir le gaz de synthèse ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ). Ce dernier destiné pour la fabrication du méthanol. [4]

**Tableau I.1** : Identification du méthanol [4]

IDENTIFICATION	
Nom IUPAC	Méthanol
Synonymes	Alcool méthylique
Apparence	Liquide incolore, d'odeur caractéristique
Formule brute	$\text{CH}_4\text{O}$
Masse molaire	32,0419 g/mol
PKa	15,2

**Tableau I. 2** : Propriétés physiques du méthanol [4]

PROPRIETES PHYSIQUES	
T° fusion	- 98 ° C1
T° ébullition	65 ° C1
Masse volumique	0,7910 g·cm-3 7
Limites d'explosivité dans l'air	Inférieure : 6,7 Vol% Kohn-Birett Supérieure : 36,5 Vol% Kohn-Birett
Point critique	239,35 °C, 8,08 MPa, 0,117 l·mol-19
Électrique	190,16 mW m-1 K-1 à25 °C (liquide)

**Tableau I.3** : Thermochimie de Méthanol [4]

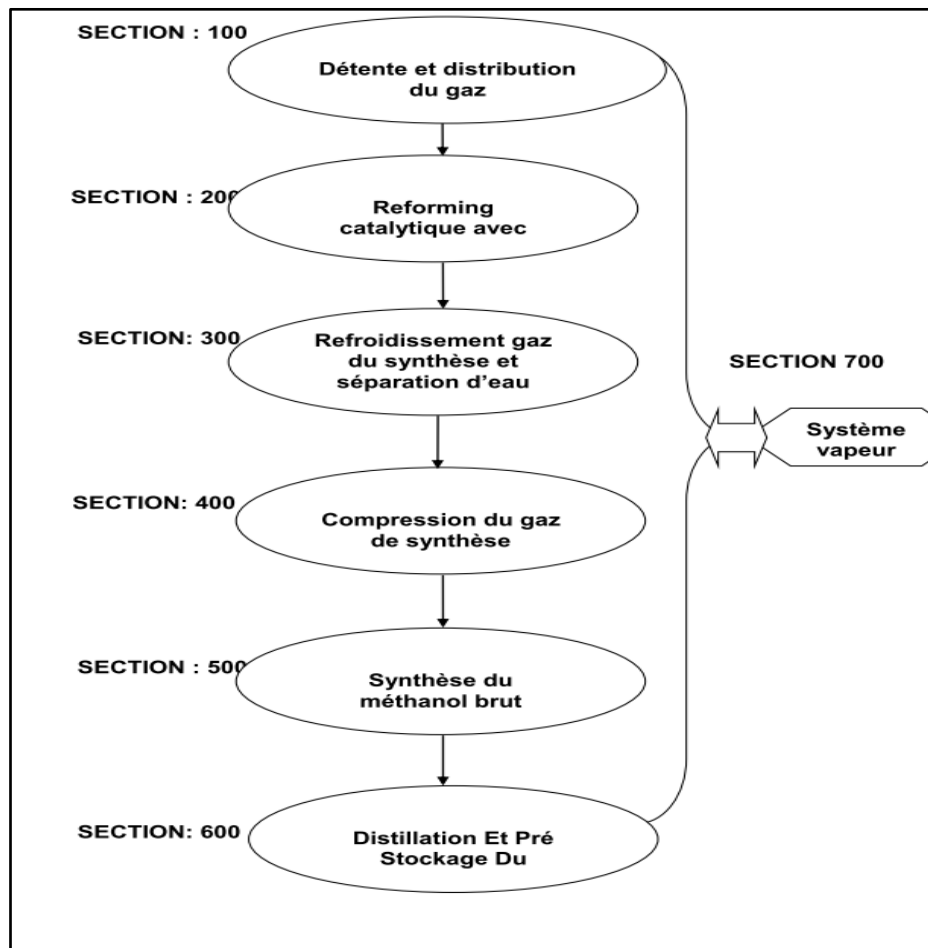
THERMOCHIMIE	
S <sup>0</sup> gaz, 1 bar	190,16 mW m-1 K-1 à25 °C (liquide)
S <sup>0</sup> liquide	1 bar : 127,19 J/mol.K
S <sup>0</sup> solide	1,117 J/mol.K
ΔfH <sup>0</sup> gaz	-201,54 kJ·mol-1 11
ΔfH <sup>0</sup> liquide	-239,00 kJ·mol

➤ **Procédé de fabrication du méthanol :**

L'unité méthanol a une capacité de production de 300 T/J avec apport de CO<sub>2</sub> 340T/J. On fait la synthèse du méthanol par réaction d'hydrogène sur l'oxyde de carbone (CO) et l'acide carbonique. Ces gaz peuvent être obtenus par le Reforming à la vapeur du gaz naturel [4].

## ➤ Diagramme du procédé

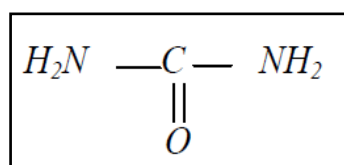
La synthèse du méthanol dans cette unité passe par six sections successives 100, 200, 300, 400, 500,600 et une section en parallèle 700



**Figure I.4.** Processus du méthanol [4]

### I.2.1.2 L'Urée :

C'est une substance utilisée dans l'industrie et l'agriculture (engrais). L'urée, l'hydrazine de l'acide carbonique a la formule suivante :



**Figure I.5 :** Structure d'urée [5]

C'est un composé solide sans odeur et incolore, il fond à 132,7°C et qui se dissout facilement dans l'eau, c'est un intermédiaire entre les composés inorganique et organique l'Urée est produite à haute température et pression à partir du gaz carbonique et de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>).

## I.2.2 Auxiliaires de Production [4]:

- Huile diathermique : L'huile diathermique est une huile caloporteur, elle est utilisée pour absorber la chaleur Cédée par la réaction dans les deux réacteurs R101 et R102.

- Catalyseur : est une espèce chimique qui peut accélère la réaction et on peut le retirer à la fin de la réaction. Le catalyseur utilisé dans cette unité est un mélange constitue de 18 à 19 % en poids de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et de 81 à 82% de MoO<sub>3</sub>.

## I.2.3 Spécifications techniques du catalyseur [4]:

**Tableau I.4 : Tableau technique de catalyseur**

1	Désignation du produit	Catalyseur
2	Produit de base	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MoO <sub>3</sub>
3	Quantité totale exploitable (sans poudre)	1200kg
4	Durée de vie	> à une année
5	Consommation spécif. de catalyseur/tonne de F36	0.054 kg/tonne de F 36
6	Forme	Anneaux cylindriques
7	Dimensions	4*4*2 mm
8	Conversion du méthanol	98% molaire
9	Rendement en formaldéhyde	93.5% molaire
10	Perte de charge au démarrage	60 mm hg
11	Température de réaction au démarrage	265-275°C
12	Densité du catalyseur	0.93
13	Porosité	0.26cm <sup>3</sup> /g
14	Emballage	Futs de 25kg en carton

## I.2.4 Service résines synthétiques (U100) : [5]

L'unité 100 produit alternativement deux solutions

- Formaldéhyde à 36 %
- Formurée à 80 %

## I.2.4.1 Principaux équipements composants l'installation :

### ❖ Un Ventilateur :

Il sert à envoyer dans les autres équipements l'air nécessaire à la réaction. Il aspire un mélange d'air frais et du gaz recyclé provenant de la tête de la colonne. Le mélange gaz recycle et l'air frais s'appelle air total.



**Figure I.6 :** Ventilateur FP101 [5]

### ❖ Echangeur de chaleur gaz – gaz :

Il est divisé en trois secteurs qui sert à chauffer l'air nécessaire à évaporer le méthanol, à chauffer le gaz air - méthanol avant la réaction et à refroidir les gaz de formaldéhyde après la réaction. [5]

### ❖ Evaporateur de méthanol :

Il sert à évaporer le méthanol liquide et le mélanger avec l'air pour former le gaz à réagir. C'est un cylindre vertical en acier inox rempli d'anneaux pall 35 x 35, comprenant des grilles de soutènement et un tore distributeur. La fonction des anneaux est d'augmenter la surface et le temps de contact entre le gaz et le méthanol.

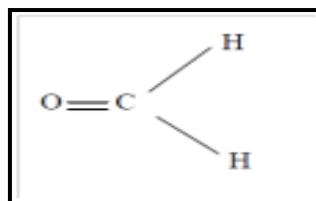


**Figure 1.7 :** Anneaux pall 35 x 35 [6]

## I.2.4.2 Description du procédé de Formaldéhyde :

L'aldéhyde formique est un produit de la grande industrie chimique qu'on prépare par oxydation ménagée de l'alcool méthylique, il est le plus souvent employé à 36 % connu sous le nom du formol.

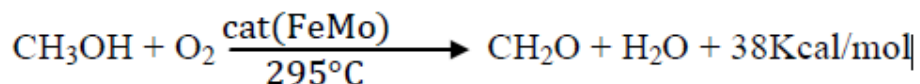
Le formaldéhyde est un gaz soluble dans l'eau et les solvants organique usuels mais insoluble dans l'éther de pétrole. C'est un gaz toxique, d'odeur très piquante qui peut être stocké à des à des températures supérieures à 20 °C. Il est stabilisé avec le méthanol pour éviter la formation de para formaldéhyde, sa formule moléculaire est :



**Figure I.8 :** Structure du formaldéhyde [7]

- Production du gaz de formaldéhyde :

La production de formaldéhyde est basée sur l'oxydation de l'alcool méthylique au-dessus d'un catalyseur à base de molybdate de fer (FeMo), l'agent d'oxydation est l'oxygène contenu dans l'air, cette réaction est exothermique, représentée par la réaction suivante :



Le gaz total est composé de 75 % de gaz recyclé (contrôlé par la vanne MC101) et de 25 % d'air frais est aspiré par le ventilateur FP 101 à une température ambiante, puis il est chauffé jusqu'à une température d'environ 170°C dans l'échangeur E102/1 coté calandre (partie inférieure), l'échange thermique est assuré par le gaz de formaldéhyde sortant des deux réacteurs (R101, R102) qui passe à travers les tubes de cet échangeur.

L'air chaud entre dans l'évaporateur E101 rempli des anneaux où il est mélangé avec le méthanol contrôlé par la vanne XV101 en respectant le rapport MeOH / (MeOH + Air total) de l'ordre de 6,5, ce rapport est très important car le mélange méthanol-air étant explosif aux concentrations comprises entre 7,5 % et 36 % qui représentent respectivement la limite d'explosivité inférieure et supérieure du méthanol.

Une injection automatique de la vapeur BP contrôlée par la vanne XV103 est prévue pour chasser le méthanol de l'évaporateur dans le cas où le ventilateur FP101 s'arrête. L'évacuation est assurée par la vanne XV 102

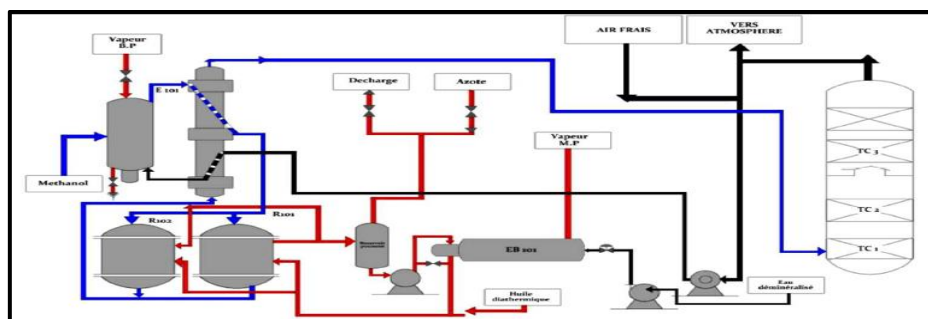
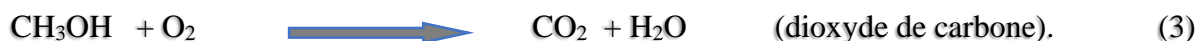
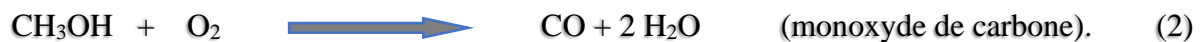
Le gaz chaud (air + méthanol) sort de l'évaporateur E101 à une température d'environ 80°C et entre dans L'échangeur E102/2 (partie supérieur) pour être chauffé jusqu'à une température de 170°C.

Le gaz total pénètre dans les deux réacteurs (R101, R102) pour produire du formaldéhyde à l'état gazeux, la chaleur cédée par cette réaction est récupérée par l'huile diathermique qui s'écoule dans un circuit spécifique.

Le formaldéhyde sort des deux réacteurs à une température d'environ 295°C pour être refroidi jusqu'à 140°C dans l'échangeur E102 coté tube par les deux fluides : l'air total et le gaz total, il entre ensuite dans la colonne d'absorption dans le fond de la colonne. [7]

### Remarque :

Dans le cas où la température de la réaction est très élevée, on peut avoir des réactions secondaires qui diminuent le rendement du formaldéhyde par la production des produits indésirables tels que (HCOOH, CO, CO<sub>2</sub> et CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>) selon les réactions suivantes :



**Figure I.9 :** Description de la phase gazeuse du procédé Formaldéhyde/Formurée [7]

- Production de formaldéhyde liquide à 36% en poids :

# CHAPITRE I

La colonne d'absorption C101 est composée de trois tançons de condensation (TC1,TC2, TC3) et 11 plateaux perforés. Pour l'absorption du formaldéhyde, l'injection de l'eau déminéralisée se fait au niveau du 11ème plateau et en suite va descendre, l'eau s'enrichit en gaz et le formaldéhyde ascendant s'appauvrit des gaz La recirculation du liquide dans la colonne est assurée par [7] :

- Tronçon TC3 :

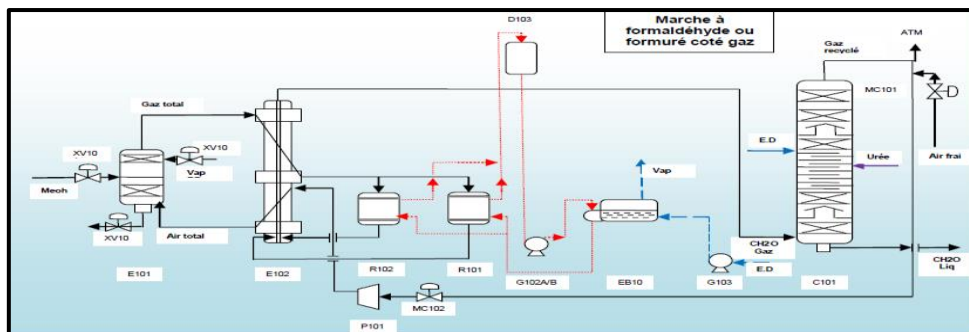
Il assure la déshumidification des gaz sortant des plateaux de manière à en permettre le recyclage à une température ambiante.

- Tronçon TC1 :

Le liquide est aspiré par la pompe G107 de la cuve de la colonne (C101) à une température de 52°C, ensuite refroidi dans les échangeurs à plaque E103 et E104, puis il entre dans le déversoir du TC1 à une température de 48°C, cette opération s'appelle la mise en circulation du TC1.

- Tronçon TC2 :

Le liquide est soutiré de la cuve de TC2 par la pompe G108 à une température de 33°C, ensuite refroidi dans l'échangeur à plaque E105, puis il entre dans le déversoir du TC2 à la température 28°C, cette opération s'appelle la mise en circulation du TC2.



**Figure I.10** : Schéma de procédé de fabrication de F36 et UFC80 « unité 100 »

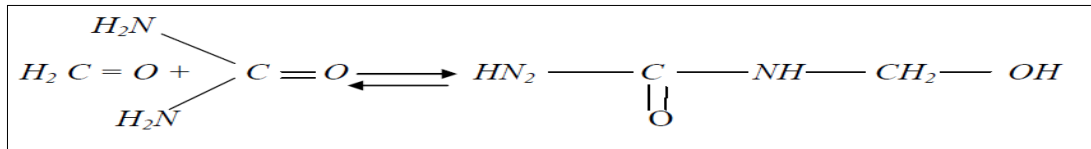
- Le pré-stockage du formaldéhyde :

Le formaldéhyde fabriqué est soutiré du fond de la colonne, dans le ça ou le niveau de la colonne dépasse 50% (ligne de soutirage), l'électrovanne LICV 101 s'ouvre automatiquement pour faire circuler le produit à l'aide de la pompe G112 vers le bac de pré-stockage (D113 ou D114) en passant par l'échangeur à plaque E106 pour être refroidi davantage [8]. Le formaldéhyde peut

être corrigé pour l'obtenir à 36% en poids en additionnant une quantité d'eau calculée en se basant sur les résultats d'analyse donnés par laboratoire.

### I.2.4.3 Description du procédé de formurée 80

La formurée 80 est obtenue par l'absorption du formaldéhyde gaz par solution d'urée dans la colonne d'absorption selon la réaction suivante :



**Figure I.11** : Structure du mono-méthylol-urée [9]

Pour la production de la formurée on procède de la même manière dans la marche à formaldéhyde dans cette phase.

- Production de Formurée 80 % en poids :

Pour l'absorption du formaldéhyde, l'injection de l'urée se fait au niveau du 7<sup>ème</sup> plateau. La recirculation du liquide dans la colonne est assurée par [7] :

- Tronçon TC1 :

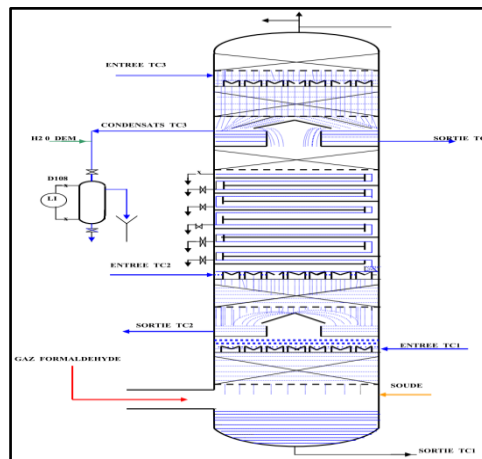
Le liquide est aspiré par la pompe G107 de la cuve de la colonne C101 à une température de 65°C, ensuite refroidi dans l'échangeur à plaque E103, puis il entre dans le déversoir du TC1 à une température de 60°C, cette opération s'appelle la mise en circulation du TC1.

- Tronçon TC2 :

Le liquide est soutiré de la cuve de TC2 par la pompe G108 à une température de 54°C, ensuite refroidi dans l'échangeur à plaque E104, puis il entre dans le déversoir du TC2 à une température de 48°C, cette opération s'appelle la mise en circulation du TC2.

- Tronçon TC3 :

Le liquide est soutiré de la cuve de TC3 par la pompe G109 à une température de 34°C, ensuite refroidi dans l'échangeur à plaque E105, puis il entre dans le déversoir du TC3 à la température de 28°C, cette opération s'appelle la mise en circulation du TC3.+-



**Figure I.12** : Colonne d'absorption C101 [7]

### Remarques :

La production de la formurée 80 se déroule dans un milieu alcalin donc une injection de soude à 10% de concentration se fait périodiquement en fonction des analyses de pH au niveau de la colonne C101, le but de travailler dans ce milieu est d'éviter la solidification de la formurée (condensation très avancée de la formurée).

Cette injection se fait par la pompe à doser (à piston) G106 à partir du ballon D110 dans les tronçons TC1 et TC2. Ce ballon est alimenté par la pompe G110 qui aspire la soude du ballon de stockage D109.

Pour le bon déroulement de la fabrication de la formurée il est nécessaire de faire des analyses périodiques (au niveau de laboratoire de l'unité 100) de pH, densité et viscosité de notre produit, afin d'éviter la solidification de ce dernier [7].

#### - Pré-stockage du Formurée :

La formurée fabriquée est soutiré du fond de la colonne, dans le ça ou le niveau de la colonne dépasse 50 %, l'électrovanne s'ouvre automatiquement pour faire circuler le produit à l'aide de la pompe G112 vers le bac de pré-stockage (D113 ou D114) en passant par l'échangeur à plaque E106 pour être refroidi davantage. [8]

La formurée peut être corrigé pour l'obtenir à 80 % en poids en additionnant une quantité d'eau et d'urée calculée en se basant sur les résultats d'analyse donnés par laboratoire.

**I.2.4.3 Description du procédé de fabrication de la résine uréique liquide RUL :****I.2.4.3.1 Matières premières****Tableau I.5 : Spécifications Formurée à 80 % (UFC80) [8]**

Analyse	Résultat
Aspect	Clair
Densité à 20°C	1285 - 1295 g/l
CH <sub>2</sub> O total	57% - 57,5 %
CH <sub>2</sub> O méthylolique	0,5 – 1,5 %
Urée totale	23 – 23,5%
PH à 20°C	6,5 – 7,5
Viscosité à 20°C	155 ± 20 cp

**Tableau I.6 : Spécifications urée solide [8]**

Analyse	Résultat
Titre	> 98,8 %
Ammoniac	< 0,02 %
Anhydride carbonique	< 0,02 %
Humidité	< 0,5 %
PH dans la solution de Formaldéhyde	8 - 9,5

## I.2.4.3.2 Description et installation unité 600 :

La résine uréique liquide est préparée par condensation du mélange formurée – urée en autoclave à une température de 90 - 95 °C, catalysé par l'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Le processus de condensation est interrompu au moment choisi ou l'on peut déterminer par les mesures de la viscosité en portant le pH à des valeurs légèrement alcalines par l'ajout de la soude à 30 %. On verse de la formurée UFC 80 et l'urée à 71% selon les quantités fixées et on homogénéise le tout avec l'agitateur [9].

On chauffe le mélange jusqu'à une température de 65°C, ensuite, on ajoute de l'acide acétique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  à 80 % et on maintient la température à 90°C et le pH à 5,3 - 5,7. Lorsque la viscosité atteint 2100 cps, on bloque la réaction avec NaOH à 30 % et on refroidit la solution à une température de 35°C, enfin, on ajoute la deuxième fraction d'urée 71 % et on corrige le pH à 7,8 - 8,5 et la viscosité à 700 - 900 cps dans le finisseur D 608.

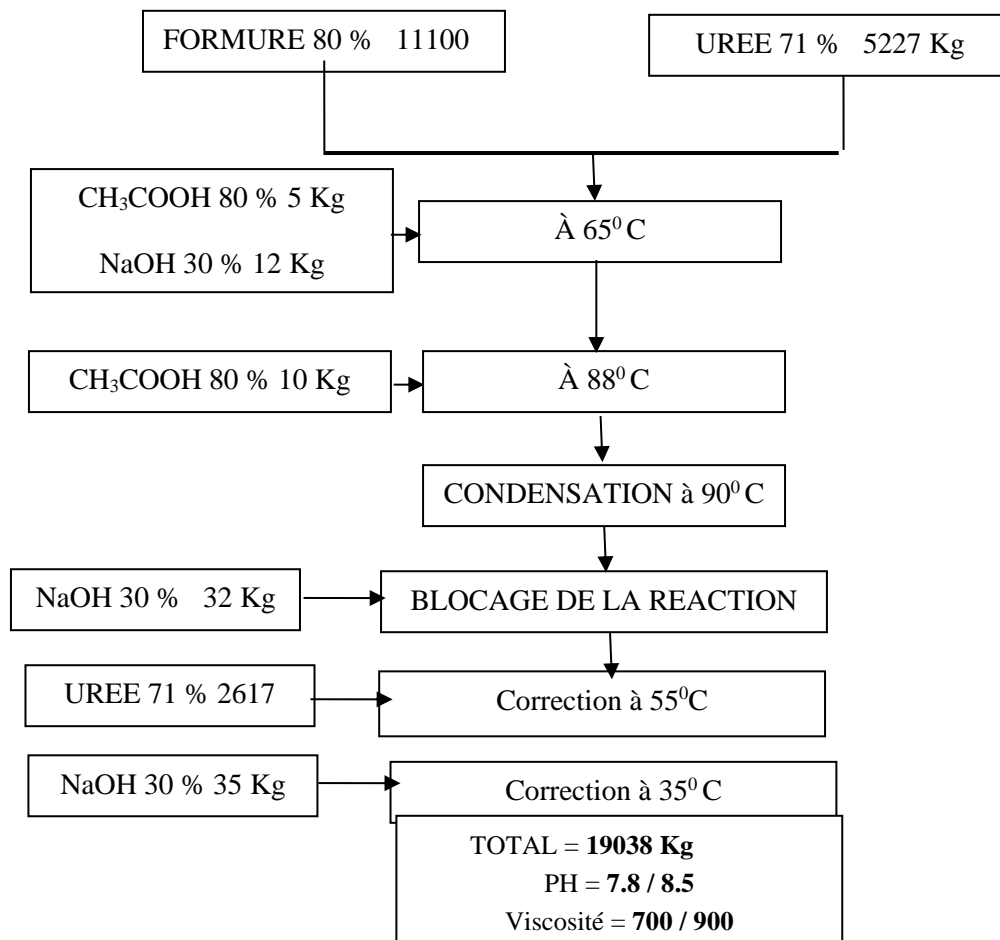


Figure I.13 : Description du procédé de fabrication de la résine

## *Chapitre II*

---

### *Problématiques*

---

**SECTION I : LA DISSOLUTION D'UREE****II.1. Caractéristiques d'urée solide [11] :**

Les caractéristiques d'urée utilisée actuellement pour la production de formurée, les colles uréiques liquides et solides sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.1 : Caractéristiques d'urée solide [11]**

Couleur	Blanche
Titre	> 98.8%.
Ammoniac	< 0.02%.
Anhydride carbonique	< 0.02%.
Humidité	< 0.5%.
pH dans la solution de Formaldéhyde	(8 - 9.5).
Biureté	<1%
Cendres	<0.05%
Chlorures	<10 ppm
Sulfates	<10 ppm
Nitrates	<10 ppm

**II.2. Effet du stockage sur la dégradation d'urée [12] :**

Les prills et les granulés d'urée sont transportés en vrac par camions, par bateaux ou par trains etc. Ceci explique que les gens demandent d'augmenter au maximum la résistance au

choc. Des grandes quantités d'urée sont stockées en vrac dans des hangars, conçus pour que le produit subisse le moins de dégradation possible.

**Les dégradations peuvent provenir de :**

- ❖ Ségrégation des fines (qui peut être évité par un épandage régulier du produit lors des déversements)
- ❖ Désintégration (qui peut être minimisée par un système d'épandage avec un ajustement de la hauteur)
- ❖ Récupérer le produit avec des chargeurs et des pelles mécaniques
- ❖ L'absorption et de la migration d'eau.
- ❖ Le mottage et la désintégration des produits résulte de l'absorption d'eau

La tendance au mottage de l'urée peut être réduite par l'addition de faibles quantités de formaldéhyde jusqu'à 0.6 % poids)

Afin d'éviter toute dégradation d'urée liée au stockage et au déchargement il est préférable de :

- ❖ Ne pas charger ou décharger sous la pluie
- ❖ Être sûr de la propreté des cuves de transport et de leur non humidité
- ❖ Fermer les écoutilles des bateaux par temps de pluie
- ❖ Ne pas ventiler les stockages
- ❖ Couvrir le produit pour des transports longs
- ❖ Le produit doit être étendu plutôt que déverser à partir d'un seul point pour éviter les poussières et la ségrégation du produit
- ❖ Limiter la hauteur des tas

### **II.3. Description du procédé de dissolution actuelle :**

L'urée en solution d'eau déionisée est obtenue dans les cuves **D203** en dissolvant de l'urée granuleuse avec de l'eau déionisée et la vapeur. La présence de vapeur est primordiale car la dissolution de l'urée est très endothermique après les condensats deviendra même fluide de dilution.

La température de la solution en préparation ne devra pas dépasser 90°C car au-dessus de cette température se développe une grande quantité d'ammoniac et la solution d'urée se dégrade rapidement

La solution ayant un titre 55% est employée pour la production de formurée 80. Elle est stockée dans le **D205** d'une capacité de 100m<sup>3</sup> suffisante pour 8 jours de marche. L'utilisation

en continu est effectuée avec les pompes **G111/112** qui aspirent des réservoirs **D111** ou bien **D112**. Par contre l'alimentation de la solution 71% vers l'unité 600 est discontinuée elle est stockée dans le **D204** de 25m<sup>3</sup> suffisante pour 2 jours de production.

Le temps de stockage a été déterminé par la dégradabilité de l'urée en solution. Donc tous les deux jours ont effectué une opération de dissolution pour la solution 55% pour obtenir 33m<sup>3</sup> de solution.

Tous les réservoirs ont été thermostatés à l'eau chaude pour tenir la solution à 55% à 50°C et la solution à 71% à 65°C. On doit employer de l'eau chaude pour éviter les températures de paroi des serpentins trop hautes qui donnerait une dégradation de la solution inacceptable.

#### **II.4. Problème lié au procédé :**

Le procédé de dissolution d'urée solide au sein des cuves ouvertes présente divers problèmes économiques ainsi qu'environnementaux, nous pouvons les regrouper dans les points suivants :

- ❖ Les conditions de stockage qui peuvent causer la dégradation d'urée
- ❖ Les pertes de matières lors du déchargement
- ❖ L'odeur d'ammoniacale propagée lors de la dissolution à cause du système ouvert de la cuve
- ❖ La dégradation d'urée à cause du contact direct avec la vapeur très chaude ce qui engendre une très forte odeur d'ammoniacale
- ❖ Le colmatage d'urée due aux conditions de stockage ce qui rend difficile l'opération de dissolution
- ❖ L'absence totale de quantité exacte de vapeur ainsi que d'eau à ajouter au cours de dissolution ce qui rend le risque d'accident et d'erreur important

### ***SECTION II : PROBLEMATIQUE***

#### **II.5. Problématique :**

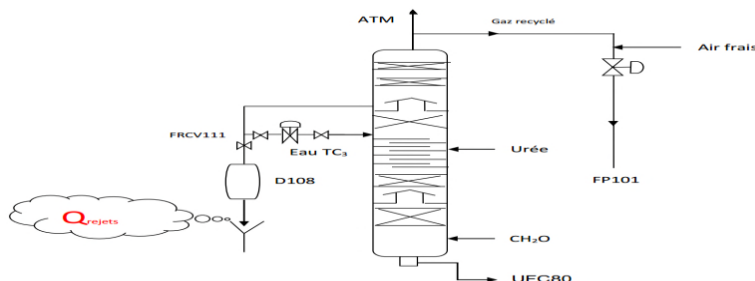
Rappelons que l'absorption des gaz formaldéhyde par l'urée pour produire de la formurée est réalisée dans une colonne constituée de 11 plateaux perforés et trois tronçons à garnissage TC1, TC2 et TC3 ; ce dernier ne se remplit jamais et le liquide ne déverse jamais sur les équipements qui se trouvent au-dessous et ne se mélange pas avec les autres liquides de la colonne qui représente la production. L'eau qui se forme pendant la marche est déchargée vers D108 et

ensuite par un trop plein où il est rejeté par la suite vers l'égoût. Ces eaux représentent les eaux de condensation.

## Le problème qui se pose

Quel est la quantité des rejets liquides formés par condensations des vapeurs d'eau ?

Comment réutiliser l'eau de condensats dans un autre processus ?



### II.5.1. Résultats et discussion

Pour résoudre ce problème on va d'abord, suivant la quantité d'eau dans les constituants dans les différentes étapes de procédé :

- ❖ Connaître la composition chimique à l'entrée et sortie de la colonne.
- ❖ Établir un bilan de matière global en eau de la colonne C101 pour connaître la quantité des rejets d'eau de TC3.
- ❖ Analyser ces eaux pour connaître leurs caractéristiques.
- ❖ Etudier la possibilité de substituer l'eau de condensats avec l'eau déminéralisée.
- ❖ Proposition pour utiliser l'eau de condensats dans la dissolution d'urée.
- ❖ Schématiser cette solution.

#### II.5.1.1. Bilan global :

$$\text{ENTRÉE} + \text{ACCUMULATION} = \text{SORTIE} + \text{PRODUCTION}$$

#### II.5.1.2. Compositions des constituants

##### Les gaz réagis

Ce sont les gaz formaldéhyde provenant des réacteurs R101 et R102 et entre dans la colonne C101.

	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>2</sub> O	HCOOH	H <sub>2</sub> O	Total
(Kg/h)	12295.1	1545.9	138.6	95.1	3.2	51.58	999.5	3.2	988.2	16120.4
%poids	76.27	9.59	0.86	0.59	0.02	0.32	6.2	0.02	6.13	100

*Tableau II.2 : composition des gazes réagis*

Les gaz sortants Ce sont les gaz de tête de colonne C101 sortant vers l'atmosphère.

**Tableau II.3 : composition des gazes sortants**

	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> O	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OH	HCOOH	H <sub>2</sub> O	Total
(Kg/h)	3019.55	381.58	34.17	23.85	17.80	1.07	10.68	0.53	70.12	3533.2
%poids	84.83	10.72	0.96	0.67	0.50	0.03	0.30	0.02	1.97	100

### La formurée

Produit sortant du fond de la colonne C101.

**Tableau II.4 : composition du produit sortant (formurée)**

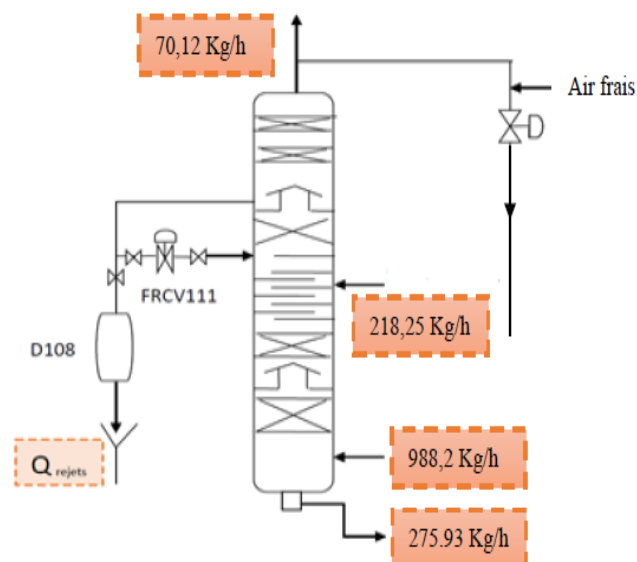
	CH <sub>2</sub> O	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	NACO <sub>2</sub> H	H <sub>2</sub> O	Total
(Kg/h)	852.45	321.17	0.435	275.93	1450
%poids	58.79	22.15	0.03	19.03	100

### L'urée

**Tableau II.5 : composition d'urée entrant**

	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	H <sub>2</sub> O	Total
(Kg/h)	266.75	218.25	485
% poids	55	45	100

## Résumé



### II.5.1.3 Calcul de la quantité des condensats rejets

#### ❖ Calcul de la quantité de l'eau rejetée

Pour calculer la quantité totale d'eau, on applique le bilan de matière pour H<sub>2</sub>O

Donc :

$$Q_{\text{eaux entre colonne}} + Q_{\text{eau dans l'urée}} = Q_{\text{eau dans la production}} + Q_{\text{eau rejetés}} + Q_{\text{eau sortie vers atmos}}$$

$$988.2 + 218.25 = Q_{\text{eau rejetés}} + 275,93 + 70,12$$

$$Q_{\text{eau rejetés}} = 860.4 \text{ Kg/h}$$

❖ *La quantité des condensats rejetés*

D'après les analyses, l'eau représente 98.7% de condensats rejeté

Donc :

$$98.7\% \rightarrow 860.4 \text{ Kg/h}$$

$$100\% \rightarrow Q_{\text{condensats rejetés}}$$

$$Q_{\text{condensats rejetés}} = 870.73 \text{ Kg/h}$$

❖ *La quantité des condensats rejetés par jour*

$$Q_{\text{condensats rejetés}} = 870.73 \times 24$$

$$Q_{\text{condensats rejetés}} = 20.92 \text{ Tonne/Jr}$$

### II.5.1.4. Caractérisations des eaux de condensats

Les résultats obtenus des analyses des eaux de condensats sont regroupés dans le tableau suivant :

*Tableau II.6 : Caractéristique des eaux de condensats et l'eau déminéralisée*

Analyse	Eau déminéralisée	Eaux de condensats
PH	7.15	6.8
Conductivité (μS/cm)	0.94	14
Urée totale (%)	-	≈ 0.048
Formaldéhyde total (%)	-	≈ 1.25
Teneur en eaux (%)	100	≈ 98.7
Teneur en Cl <sup>-</sup>	-	0.15 ppm

Le **Tableau II.6** montre une comparaison des analyses obtenues sur les deux eaux utilisées dans notre étude.

Nous remarquons que la conductivité des eaux de condensats est nettement supérieure à celle de l'eau déminéralisée, ceci serait dû à la présence des ions dans l'eau (0.15 ppm des ions chlorures) et plus probablement à la présence de sels.

Nous remarquons également que les eaux de condensats présentent un taux de formaldéhyde d'environ 1.25 %. C'est une teneur importante qui nous a menés à les récupérer et les réutiliser dans l'une des applications possibles :

❖ *Pour la dissolution d'urée à 55% pour l'unité 100 et à 71% pour l'unité 600.*

### ❖ Dans la production de la colle L10

#### II.5.1.5. Calcul de la quantité d'eau utilisées pour la dissolution d'urée 55%

L'unité 100 a besoin de 485 Kg d'Urée 55% par heure et une quantité d'Urée environ 53 Kg/h pour la correction du produit avant le stockage final.

#### ❖ La quantité d'Urée Total utilisée dans l'unité 100 :

$$Q_{\text{Urée utilisé}} = Q_{\text{Urée injecté dans la colonne}} + Q_{\text{Urée pour la correction}}$$

$$Q_{\text{Urée utilisé}} = 485 + 53$$

$$Q_{\text{Urée utilisé}} = 538 \text{ Kg/h}$$

Donc :

$$538 \text{ Kg} \rightarrow 100\%$$

$$Q_{\text{eau}} \rightarrow 45\%$$

$$Q_{\text{eau}} = 242.1 \text{ Kg/h}$$

#### ❖ La quantité d'eau utilisée par jour

$$Q_{\text{eau journalière}} = 242.1 \times 24$$

$$Q_{\text{eau journalière}} = 5.810 \text{ T/jr}$$

#### II.5.1.6. Calcul de la quantité d'eau utilisées pour la dissolution d'urée 71%

L'unité 600 suivant la feuille de marche a besoin de 5230 kg(alimentation) et 2600kg (finissage) d'urée pour chaque autoclave.

#### ❖ Pour deux charges par jour de L10 on a :

$$2 \times (5230 + 2600) = 15660 \text{ kg Urée}$$

$$15660 \times 0.71 = 11118.6 \text{ kg Urée}$$

$$15660 \times 0.29 = 4541.4 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{eau journalière}} = 4.5414 \text{ T/j}$$

#### ❖ La quantité totale utilisée :

$$Q_{55\%} + Q_{71\%}$$

$$4.5414 + 5.810$$

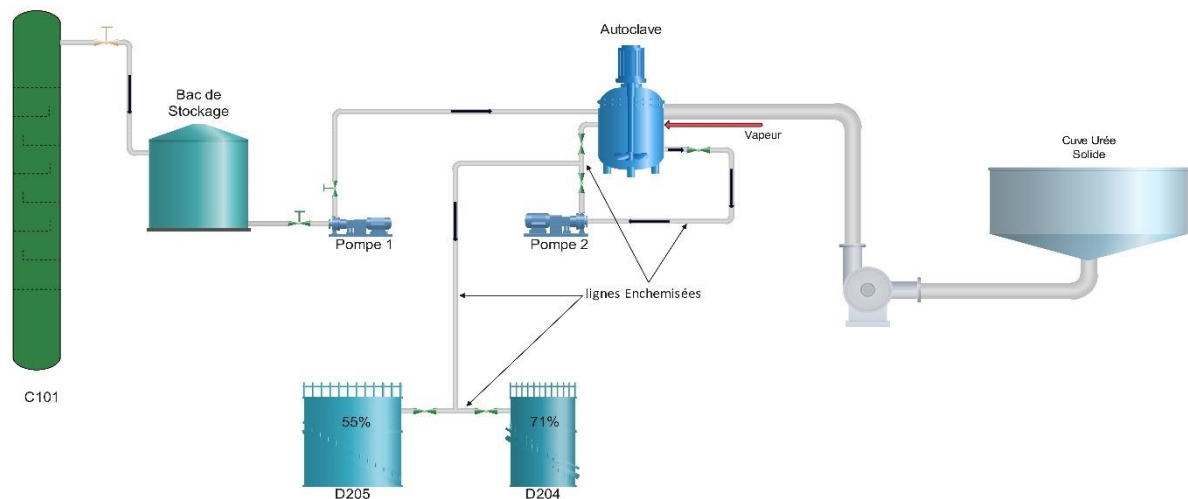
$$Q_{\text{totale eau journalière}} = 10.35 \text{ T/j}$$

## II.6. Solution proposée

D'après les résultats qu'on a obtenus, on a proposé la création d'une station de dissolution pour résoudre notre problème et les problèmes rencontrés dans le procédé de dissolution actuel. Parmi les avantages de cette nouvelle station de dissolution :

❖ Récupération d'une grande quantité d'eau de condensat rejeté vers égout (environ 5.8 T/Jr).

- ❖ Utiliser les eaux de condensats pour la dissolution d'urée pour les besoins d'unité 100 et la correction des bacs de stockage D113 et D114
- ❖ Diminution de la pollution.
- ❖ Protection l'écosystème.
- ❖ Récupération des quantités perdues de formaldéhyde et l'urée.
- ❖ Economiser de l'argent dans l'achat d'eau déminéralisé.



### SECTION III : DESCRIPTION DE LA STATION DE DISSOLUTION

#### II.7. Liste des équipements

Les équipements qui composent notre station sont :

➤ **Section de production :**

**Bac de stockage des condensat TC3** : réception des condensats venant de la colonne

**Motopompe** : transfert des condensats vers l'agitateur de dissolution

**Agitateur** : système d'agitation verticaux menu de chicane et d'Hélice comme mobile d'agitation.

**Motopompe** : transfert d'urée liquide vers les bacs de stockage de l'unité 200.

➤ **Stockage urée solide**

**Cuve de stockage** : avec système de pesé et vibration intégrer

➤ **Manutention de solide en vrac**

**Système pneumatique** : qui comporte :

- ❖ Ventilateur
- ❖ Système d'alimentation

- ❖ Tuyauterie
- ❖ Zone de séparation gaz-solide (cyclone)

### II.8. Choix des spécifications des équipements :

#### II.8.1. Choix de l'agitateur

Les mobiles de mélanges fonctionnent d'une façon qui leur est propre, c'est pourquoi il y a autant de d'options et que beaucoup de critères sont à considérer pour effectuer un choix de mélangeur judicieux pour une opération donnée. Entre autres, il faut considérer la puissance consommée par le mobile, le temps qu'elle mettra à atteindre un certain degré d'homogénéité. Classiquement, ces considérations permettent de bien évaluer le mobile de mélange le plus performant lorsque deux phases sont en contact. Mais lorsque l'application le nécessite, il faut aussi déterminer quel mobile est le plus efficace pour la suspension de solides, par exemple.

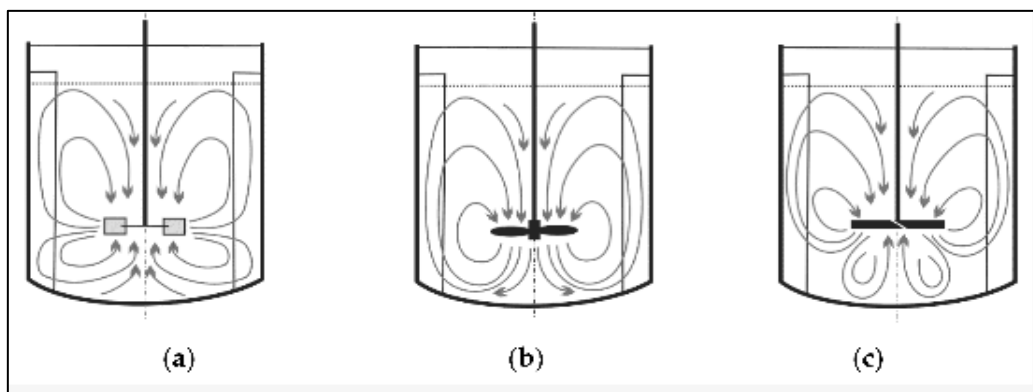
##### II.8.1.1. Caractéristiques hydrodynamiques d'un mobile d'agitation : [13]

Un agitateur peut assurer une action de pompage par écoulement axial, radial et tangential :

1\ *les mobiles d'agitation à refoulement axial* : pour lesquels l'écoulement est principalement parallèle à l'axe du mobile d'agitation (fig.II.1(a)) ;

2\ *les mobiles d'agitation à refoulement radial* : dans ce cas l'écoulement est créé par un mouvement horizontal vers les parois de la cuve, donné au liquide par la rotation du module d'agitation. Le flux se divise ensuite en deux courants, l'un allant vers le fond de la cuve, l'autre remontant vers la surface du liquide (fig.II.1(b)) ;

3\ *les mobiles d'agitation à refoulement tangential* : pour lesquels le fluide se déplace essentiellement en un seul bloc en rotation autour de l'axe du mobile d'agitation (fig.II.1(c)).



*Fig. II.1* : Présentation schématique des types d'écoulements. [Hernbay et al 1985]. [13]

##### II.8.1.2. Suspension solide-liquide :

En suspension, l'agitateur doit apporter suffisamment d'énergie afin de contrer, l'effet de la gravité qui tend à séparer les phases. Dans le cas classique de solides plus denses que la phase continue, la gravité fait en sorte que ceux-ci coulent au fond de la cuve.

Pour avoir une bonne dispersion et une bonne distribution, il faut alors un système de mélange apportant assez d'énergie pour permettre aux solides de remonter dans la cuve de manière à être en concentration à peu près égale en tout point de la cuve.

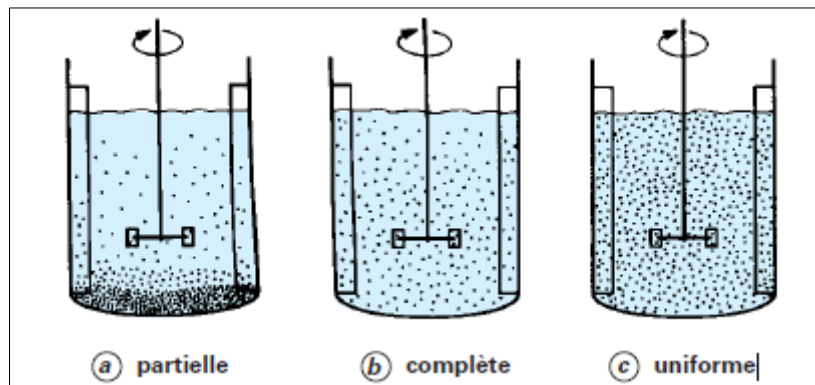


Figure II.2 : Suspension solide-liquide

De manière analogue, lorsque les solides sont de masse volumique inférieure au fluide, l'agitateur doit encore apporter de l'énergie, mais cette fois, en quantité suffisante pour entraîner les particules dans le fluide jusqu'au fond de la cuve et atteindre le degré d'homogénéité désiré. Cette quantité d'énergie se définit par l'atteinte d'un équilibre de forces qui favorise le mouvement vers le bas des particules. En effet, les forces de turbulence et de traînée doivent à la base être plus importantes que les forces de flottabilité et de tension de surface (Khazam & Kresta, 2008).

### II.8.1.3. Grandeurs caractéristiques d'un système agité

Chaque agitateur est caractérisé par les écoulements induits, le nombre de puissance  $N_p$  (consommation énergétique), le nombre de pompage  $N_q$  (capacité à refouler le liquide) et le nombre de circulation  $N_c$  (capacité à mettre en mouvement le liquide dans la cuve). La connaissance de ces nombres adimensionnels est nécessaire pour bien dimensionner et concevoir les procédés d'agitation et de mélange. [17]

#### ➤ Puissance d'agitation

Lorsque, pour une opération de mélange à effectuer, un type de mobile d'agitation a été choisi, il reste à déterminer la puissance nécessaire à son entraînement.

#### ➤ Le nombre de puissance :

Caractérise la puissance consommée à la fréquence de rotation, ainsi il représente le rapport des forces de trainés sur les forces d'impulsions.

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} \dots\dots\dots \text{Eq 01}$$

Où : P est la puissance consommée par le système d'agitation.

➤ **Le débit de pompage  $Q_p$**  :

Est le débit du fluide qui traverse le volume balayé par l'agitateur en rotation. Le débit de pompage s'écrit donc :

➤ **Nombre de pompage  $N_q$**

Le nombre de pompage est l'expression adimensionnelle du débit de pompage

$$N_q = \frac{Q_p}{Nd^3} \dots\dots\dots \text{Eq 02}$$

Avec :

$Q_p$  : débit de pompage ( $m^3/sec$ )

D : diamètre du mobile d'agitation (m)

En régime d'écoulement turbulent, le nombre de pompage est constant.

➤ **Le débit de circulation  $Q_c$**  :

Le débit de pompage induit dans le volume de la cuve, par transfert de quantité de mouvement, un débit d'entraînement  $Q_e$ . Le débit de circulation  $Q_c$  est la somme du débit d'entraînement  $Q_e$  et du débit de pompage  $Q_p$ , soit :

$$Q_c = Q_e + Q_p$$

➤ **Nombre de circulation  $N_c$**

Le nombre de circulation est l'expression adimensionnelle du débit de circulation

$$N_c = \frac{Q_c}{Nd^3} = 1.8 \times N_q \dots\dots\dots \text{Eq 03}$$

Avec :

$Q_c$  : débit de circulation ( $m^3/sec$ )

D : diamètre du mobile d'agitation (m)

N : vitesse de rotation (tr/min)

En régime d'écoulement turbulent, le nombre de pompage est constant.

Dans ce chapitre on va mettre le point sur les différents éléments nécessaires pour la conception et le dimensionnement sur les équipements qui constitue notre station de dissolution d'urée. On va y traiter les volets suivants :

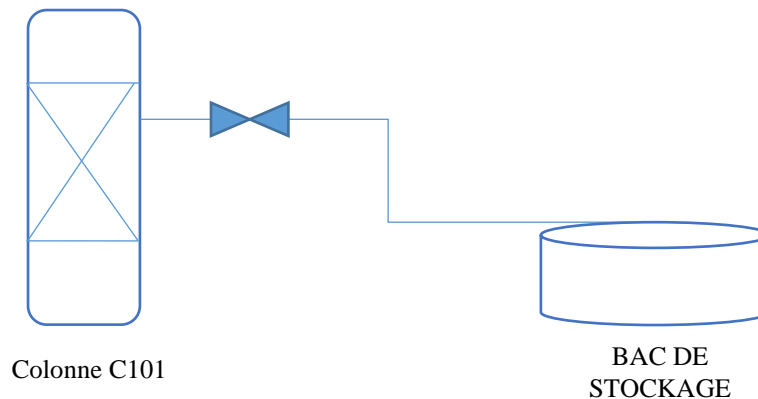
- ❖ Conception et dimensionnement des équipements.
- ❖ Étude et dimensionnement du système de manutention.
- ❖ Choix des différents éléments qui constitue les équipements de la station.

- ❖ Estimation du cout de conception de cette installation.

## II.9. Dimensionnement des équipements

### II.9.1. Dimensionnement du bac de stockage :

La capacité d'un réservoir doit être estimée en tenant compte des variations de débit à l'entrée comme à la sortie et de la variabilité de la demande. Le plus souvent on calcule la capacité du réservoir pour satisfaire aux variations journalières du débit consommé, en tenant compte bien entendu du jour de plus forte consommation.



#### II.9.1.1. Détermination de la capacité du réservoir :

Pour le dimensionnement du bac il faut prendre en considération la quantité d'Urée livrée dans chaque charge, l'Urée vient dans des charges d'environ 21 Tonne pour chaque charge.

- Calcul de la quantité d'Urée en solution 55 % :

$$Q_{\text{urée en solution}} = (Q_{\text{Urée solide}} \times 100) \div 55$$

On a la quantité d' $Q_{\text{urée solide}} = 21 \text{ Tonne} = 21000 \text{ Kg}$

$$Q_{\text{urée en solution}} = 38181,8182 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{urée en solution}} = 38.18 \text{ Tonne}$$

- Calcul de la quantité d'eau nécessaire pour la dissolution d'une charge d'Urée :

$$Q_{\text{eau utilisée}} = (Q_{\text{urée en solution}} \times 45) \div 100$$

$$Q_{\text{eau utilisée}} = 17.182 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{eau utilisée}} = 17181.82 \text{ Kg}$$

La masse volumique des condensats est environ  $996 \text{ kg/m}^3$

$$Q_{\text{eau utilisée}} = 17181.82 \div 996$$

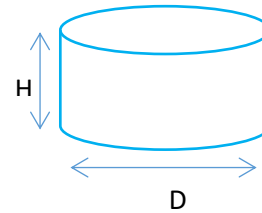
$$Q_{\text{eau utilisée}} = 17.25 \text{ m}^3$$

A partir de la quantité d'eau nécessaire pour la dissolution d'une charge d'urée on va prendre un volume de  $18 \text{ m}^3$  pour le bac de stockage

### II.9.1.2. Détermination de la géométrie du réservoir :

Selon la capacité de notre réservoir et l'emplacement choisie sur site on a opté pour une hauteur de :  $H=3\text{m}$

➤ Calcule du diamètre du réservoir :



$$V = A \times H$$

Avec :

A : surface du réservoir  $A = \frac{\pi D^2}{4}$

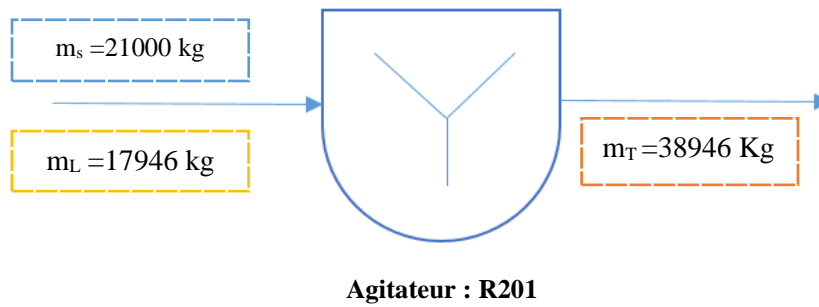
$$D = 2.78 \text{ m}$$

<i>Volume du bac</i>	18 m <sup>3</sup>
<i>Hauteur</i>	3 m
<i>Diameter</i>	2.78 m
<i>Matériaux</i>	Acier au carbone avec revêtement en inox

**TABLEAU II.7 :** Caractéristiques du bac de stockage

### II.9.2. Dimensionnement de l'agitateur :

Pour notre étude nous avons choisie d'effectuer la dissolution de l'urée dans un agitateur fermé. L'équipement va être dimensionné pour mettre en suspension l'urée solide dans les condensats chauffés grâce à la vapeur.



**Avec :**

**ms** : masse d'urée solide

**mL** : masse des condensats

**mT** : masse d'urée en solution (masse totale du système)

➤ **Bilan massique**

$$m_T = m_s + m_L$$

$$m_T = 38946 \text{ Kg}$$

➤ **Bilan énergétique :**

❖ Nous assumons que l'agitateur suit les proportions géométriques pour un système d'agitation standards.

Deux flux de propriétés différentes entreront dans le système. Afin d'obtenir le nombre de Reynolds, **la viscosité** et **la masse volumique** du mélange doivent être déterminées en premier.

**A\ Calcule de la masse volumique du mélange :**

La densité peut-être déterminer en utilisant la méthode E. Shashi Menon

$$\rho_m = \frac{100}{\frac{c_w}{\rho_s} + \frac{100-c_w}{\rho_L}} \dots\dots\dots \text{Eq 04}$$

Où :

**ρm** : masse volumique du mélange, kg/m<sup>3</sup>

**ρs** : masse volumique de l'urée solide, kg/m<sup>3</sup>

**ρL** : masse volumique des condensat, kg/m<sup>3</sup>

**Cw** : concentration de l'urée, 55%

La masse volumique de l'urée solide est égale à **1350 kg/m<sup>3</sup>** et celle des condensats est égale à **997kg/m<sup>3</sup>**

**Donc :**

**B\ Calcule de la viscosité du mélange :**

La viscosité d'une dissolution de solide dans un liquide peut être déterminé de la fraction volumique et de la viscosité du liquide.

$$\mu_m = \mu_L(1 + 2,5\phi) \dots\dots\dots \text{Eq 05}$$

**Où :**

$\mu_m$  : viscosité du mélange. cP

$\mu_L$  : viscosité du liquide. cP

La concentration du solide en volume  $C_v$  en pourcentage % et la concentration du solide en masse  $C_w$  en une relation avec les masses volumiques du mélange et du solide :

$$c_v = c_w \times \frac{\rho_m}{\rho_s} \dots\dots\dots \text{Eq 06}$$

$$c_v = 48\%$$

La fraction volumique  $\phi$  est égale :

$$\phi = c_v/100$$

**Donc :**

$$\mu_m = 9,8.10^{-3} \text{ Pa.s}$$

**II.9.2.1. Géométrie de l'agitateur :**

Puisque le système est un système fermé solide-liquide, il est important de déterminer quel type de mobile d'agitation et d'agitation sera requis. Cela nous permettra de déterminer les dimensions ainsi que la puissance requise pour notre système.

**II.9.2.1.1. Calcule du volume :**

*On a :*

$$V = m_T/\rho_m$$

$$V = 33.48$$

$$m^3$$

**II.9.2.1.2 Calcule du diamètre de la cuve d'agitation (T) :**

$$V = S \times H$$

Avec :  $S = \frac{\pi D^2}{4}$  ;  $H=T$

**Alors :**

$$T = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}}$$

**Donc :**

$$T = H = 3,5m$$

### II.9.2.1.3. Calcule du diamètre du mobile d'agitation :

Le rapport entre le diamètre du mobile d'agitation au diamètre de l'agitateur est 0.4

$$D_a = 0,4 \times D$$

$$D_a = 1,4m$$

Le tableau suivant regroupe les différent paramétré qui caractérise un agitateur standard.

**Tableau II.8 :** Proportions géométrique pour un système d'agitation standards

Paramétré	Symbole	Valeur (m)
Diamètre de la cuve	$T$	3.5
Hauteur de la cuve	$H$	3.5
Diamètre de l'agitateur	$Da$	1.4
Hauteur de l'agitateur	$h$	0.28
Longueur des chicanes	$L$	0.35
Largeur de l'agitateur	$B = D/12$	0.12
Distance entre la cuve et l'agitateur	$C = D/3$	0.47

### II.9.2.2. Détermination de la vitesse de rotation :

En suspension de solides, un des paramètres les plus importants pour savoir si la suspension est complète est la vitesse d'agitation à laquelle toutes les particules sont suspendues.

Il existe des corrélations permettant d'estimer la vitesse minimale d'agitation pour la mise en suspension ou la non déposition des particules (Zwietering, 1958 ; Mersmann et al., 1998)

$$N_{j.s} = \frac{S.v_L^{0.1} . d_p^{0.2} . \left[ \frac{g(\rho_S - \rho_L)}{\rho_L} \right]^{0.45} . X^{0.13}}{D_a^{0.85}} \dots\dots\dots \text{Eq 07}$$

AVEC :  $d_p = 4mm$  ,  $S = 6.6$  ,  $X = C_W = 55\%$

La vitesse minimale de l'agitateur pour achever une suspension est égale donc à **46 tours par minute**. Cette vitesse pourra donc garder les particules d'urée en suspension dans les condensats.

**II.9.2.3. Détermination de la puissance du système :**

Calculer le nombre de Reynolds pourra nous aider à déterminer la puissance requise pour mettre en mouvement notre agitateur.

$$P = N_p . N^3 . D_a^5 . \rho_m \dots\dots\dots \text{Eq 08}$$

➤ Calcul de nombre de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\rho_m . N . D_a^2}{\mu_m} \dots\dots\dots \text{Eq 09}$$

**Avec :**

**N** : vitesse de rotation (tr/s)

**Da** : diamètre de l'agitateur (m)

**μ<sub>m</sub>** : viscosité du mélange (Pa. s)

$$Re = 178660$$

La valeur du nombre de Reynolds calculer indique que l'écoulement dans notre système est **turbulent**. Un écoulement turbulent montre qu'un mélange vigoureux se produit dans le système. Ainsi, la force de l'écoulement axial du liquide ne permettra à aucun solide de se déposer au fond de la cuve.

En utilisant **la courbe 1 [ANNEXE A]**, pour l'agitateur type hélice on trouve pour un nombre de reynolds de 632653.9, un nombre de puissance égale à 4.

$$N_p = \frac{P}{\rho_m . N^3 . D_a^5} \dots\dots\dots \text{Eq 10}$$

$$N_p = 4$$

Donc la puissance requise pour notre système est :

$$P = 11.44 \text{ Kw}$$

### II.9.2.4. Détermination du débit de pompage :

$$Q_p = N_q \cdot D_a^3 \cdot N \dots\dots\dots \text{Eq 11}$$

On détermine le nombre de puissance à partir de **la courbe 2 de [ANNEXE A]** :

$$N_q = 1.65$$

*Donc :*

### II.9.2.5. Détermination du débit de circulation $Q_c$ :

$$Q_c = N_c N d_a^3 \dots\dots\dots \text{Eq 12}$$

*Avec :*

$Q_c$  : débit de circulation ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )

$N_c$  : nombre de circulation

$d_a$  : diamètre du mobile d'agitation (m)

$N$  : vitesse de rotation (tr/min)

#### \*Nombre de circulation $N_c$

$$N_c = \frac{Q_c}{N d^3} = 1.8 \times N_q \dots\dots\dots \text{Eq 13}$$

$$N_c = 1.17$$

*Donc :*

### II.9.3 Dimensionnements de ligne enchemisée :

L'urée en solution est un produit délicat dans son transport. Si les conduites de transport ne sont pas chauffées l'urée risque de se cristalliser dans les canalisations et causer donc le bouchage de cette dernière.

Afin d'éviter ce phénomène les conduites qui transportent l'urée doivent être enchemisées avec passage d'eau chaude. L'étude qui suit a pour objectif de savoir les températures de sortie des deux fluides et par cette occasion savoir combien de point d'entrée d'eau chaude nécessite notre système.

### Supposition :

Considérant le système comme un échangeur tubulaire à co-courant on pourra calculer ses caractéristiques.

Données :

Cp eau	Cp urée	Débit eau	Débit urée	T <sub>ce</sub> eau	T <sub>fe</sub> urée	T <sub>fs</sub> urée
1940 j/kg.k	576 j/kg.k	25m <sup>3</sup> /h	19m <sup>3</sup> /h	90°C	75°C	80°C

### II.9.3.1 Calcul du coefficient global d'échange U :

$$\phi = q \cdot C_p \cdot \Delta T = US\Delta T$$

En utilisant les données d'urée on trouve :

$$U = 418 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

### II.3.1.2. Calcul de la température de sortie de l'eau :

En utilisant le même bilan thermique du flux de chaleur pour l'eau on trouve :

$$\phi = q_e \cdot C_p \cdot \Delta T = US\Delta T$$

$$\phi = q_e \cdot C_p \cdot (T_{ce} - T_{cs}) = U \cdot S \cdot (T_{ce} - T_{cs})$$

On obtient alors :

$$T_{cs} = 87.4 \text{ °C}$$

De là on peut conclure qu'on a besoin d'une seule entrée d'eau chaude pour notre système.

## II.10. Estimation du cout de réalisation

Dans cette partie, nous donnons un devis estimatif des différents équipements à mettre en œuvre pour obtenir la station de dissolution étudié ci-dessus. Les différents prix évoqués sont ceux du marché courant et peuvent éventuellement suivre les fluctuations de ce dernier.

*Tableau II.9 : cout d'acquisition de la station*

<b><i>Tableau : coût d'acquisition</i></b>			
<b>Désignation</b>	<b>Nombre</b>	<b>Prix unitaire (\$)</b>	<b>Prix totale (\$)</b>
Bac de stockage	1	32800	32800
Pompe	2	13600	27200
conduite	/	/	13201
Agitateur	1	525400	525400
Hélice	1	31600	31600
Convoyeur	1	101500	101500
Cyclone	1	7400	7400
Trémis	1	11400	11400
Ventilateur	1	223800	223800
<b>Total brut</b>			<b>974301</b>
<b>Main d'œuvre</b>		<b>(20 %)</b>	<b>194860.2</b>
<b>Marge de sécurité</b>		<b>(10 %)</b>	<b>97430.1</b>
<b>Totale</b>			<b>1266591.3</b>

---

---

# CONCLUSION

---

---

Dans le cadre d'une démarche de valorisation des ressources et de préservation de l'environnement, ce travail a visé à proposer une solution aux problématiques environnementales et techniques liées au rejet des condensats issus du tronçon TC3 de la colonne C101 de l'unité 100, ainsi qu'à l'optimisation du procédé actuel de dissolution de l'urée.

Les bilans de matière ont mis en évidence une production journalière de 20 tonnes de condensats, actuellement rejetés à l'égout. Or, la consommation en eau pour le procédé de dissolution ne dépasse pas 18 tonnes par jour. Les résultats d'analyse ont montré que ces condensats présentent une qualité et une composition compatibles avec leur réutilisation, pouvant satisfaire entre 55 % et 71 % des besoins en eau du procédé de dissolution. Ce constat constitue une opportunité significative, tant sur le plan écologique qu'économique.

Pour répondre à ces enjeux, une étude de dimensionnement d'une nouvelle station de dissolution a été entreprise. Celle-ci est équipée d'un agitateur fermé et d'un système de manutention pneumatique. Une étude bibliographique a permis de justifier les choix techniques concernant les équipements retenus.

Les résultats essentiels de l'étude sont les suivants :

- Un réservoir de 18 m<sup>3</sup> est prévu pour la réception des condensats, dimensionné en fonction des besoins du procédé.
- Le choix s'est porté sur un agitateur à écoulement axial muni d'une hélice, nécessitant une puissance de 11.4 kW pour assurer une agitation efficace et maintenir les particules d'urée en suspension.

Enfin, l'installation d'une ligne en chemise chauffante est nécessaire pour éviter la cristallisation de l'urée durant le transfert. Les calculs de transfert thermique confirment qu'une seule entrée d'eau chaude est suffisante pour maintenir une température de sortie inférieure à 90 °C, grâce à la courte distance de la ligne.

---

---

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

---

- [1] GEUTTAI A. Traitement des effluents liquide de la colonne C101
- [2] Présentation du Complexe Méthanol & Dérivés CP1Z /Arzew. Janvier 2021
- [3] Présentation ENSPM formation industriel IFP = training
- [4] FOREST.M, TANG Ing Yi. Optimisation d'une méthode de calcul pour les cuves agitées avec le logiciel OpenFOAM [Consulté en avril 2021]  
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiep/book/export/html/1456>.
- [5] Mihir Shah, DDU. Process Engineering: Agitation & Mixing. Department of Chemical Engineering. Dharmsinh Desai University
- [6] KAMLA Youcef. Simulation de l'écoulement des fluides non newtoniens dans une cuve agitée : influence des chicanes sur la formation des vortex. Génie Mécanique. Option : Énergétique. Université des sciences et de La Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF,2017
- [7] PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS. [Consulté en mai 2021]  
[https://powderprocess.net/Pneumatic\\_Transport/Pneumatic\\_Transport\\_Handbook.html](https://powderprocess.net/Pneumatic_Transport/Pneumatic_Transport_Handbook.html)
- [8] TRANSPORT PNEUMATIQUE. [Consulté en mai 2021]  
<https://www.sotecma.es/fr/systeme-transport-pneumatique-vrac-solide/>
- [9] David Mills. PNEUMATIC CONVEYING désign guide. Paris : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- [10] A. Bhatia. PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS. Course No : M05-010. Continuing Education and Development.
- [11] PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS. [Consulté mai 2021]  
[https://powderprocess.net/Pneumatic\\_Transport/Pneumatic\\_Transport\\_Handbook.html](https://powderprocess.net/Pneumatic_Transport/Pneumatic_Transport_Handbook.html)
- [12] SATURNIN TACHOULA TSOGNO. Conception d'un système d'aspiration de poussière au poste de ponçage de carreaux de la MIPROMALO. Génie industriel. Ecole nationale supérieure polytechnique de Yaoundé .2005.
- [13] HOULALA nabil chef service Colle U600 complexe CP1/Z
- [14] EMZIANE charef Préparateur Instrumentiste au niveau du Complexe CP1/Z

---

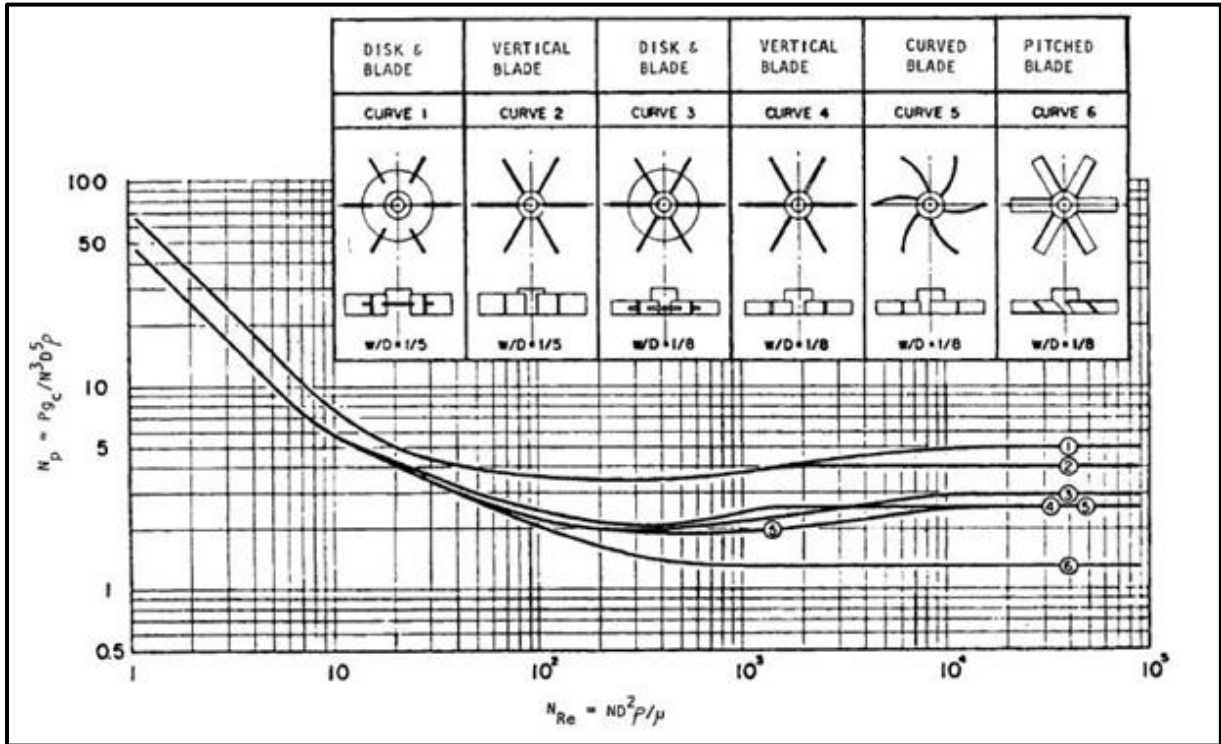
---

# *ANNEXES*

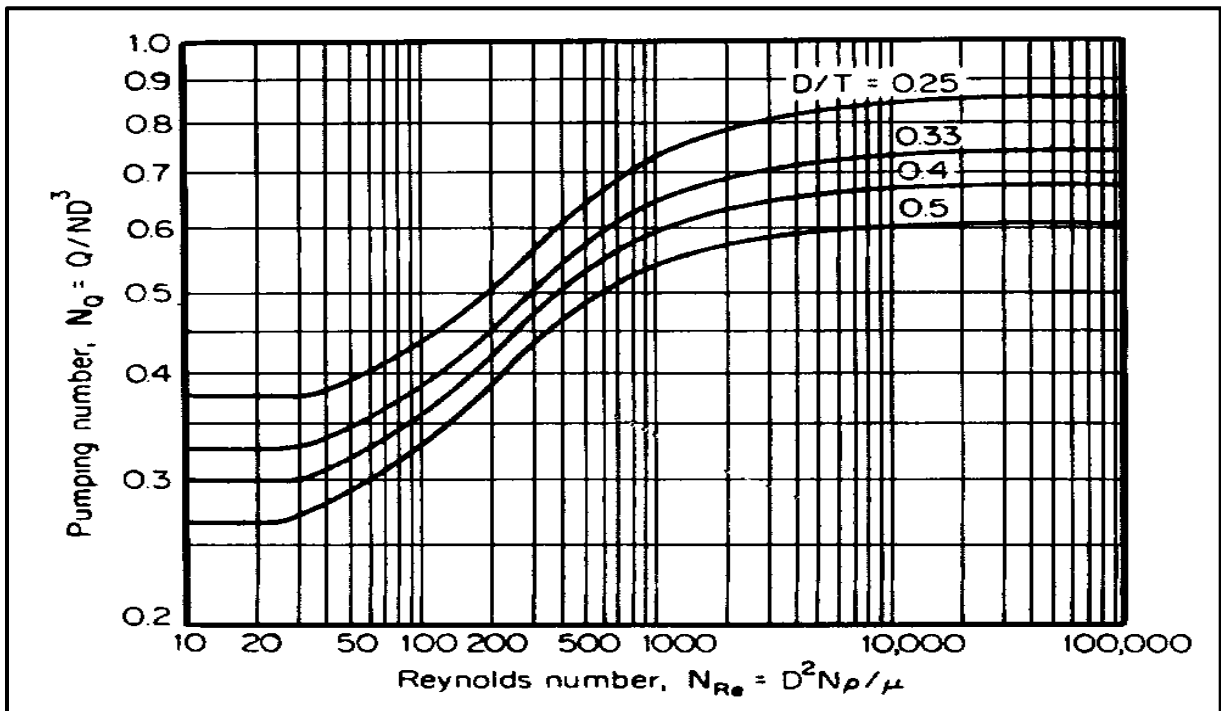
---

---

Annexe A : courbe I :  $N_p = f(Re)$ , courbe II :  $N_q = f(Re)$



COURBE I : NOMBRE DE PUISSANCE EN FONCTION DU NOMBRE DE REYNOLDS



COURBE II : NOMBRE DE POMPAGE EN FONCTION DU NOMBRE DE REYNOLDS