



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M2/GC/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Thème

**SIMULATION D'UNE UNITE DE PRODUCTION DE
METHANOL PAR ASPEN HYSYS V8.8**

Présenté par

MBAGAYINCUTI SANTA RICA

Soutenu le 29 / 06 / 2022 devant le jury composé de :

Présidente :	Dr. TERKHI Sabria	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Dr. BESSAHA Fatiha	MCA	Université de Mostaganem
Encadrante :	BENMEKKI Fadila	MAA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

R

EMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord le Dieu tout puissant pour son amour et ses bienfaits inestimables, de m'avoir guidé et illuminé vers l'apprentissage.

À mon professeur **M^{me} BENMEKKI Fadila**

Je suis très reconnaissante à l'honneur que vous m'avez fait en acceptant d'encadrer mon travail.

Je vous exprime ma grande admiration pour vos hautes qualités morales, humaines et professionnelles. Je vous prie de trouver, dans ce modeste travail, l'expression de mes sincères reconnaissances et ma respectueuse admiration, sans votre aide ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leur proposition.

Une pensée très sincère à tous les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie en particulier à ceux du département de Génie des Procédés qui ont su me donner une formation didactique et appréciable tout au long de mon cursus universitaire.

A mes parents, eux qui m'ont doté d'une éducation digne, leur amour et soutien ont fait de moi celle que je suis aujourd'hui. Je vous exprime ma gratitude.

A mes frères, sœurs et amis je tiens à vous remercier pour votre contribution inconditionnelle pour mon succès, vous incarnez la douceur, l'amour, la gentillesse et la bienveillance.

A tous ceux que j'aime.

C'est avec un grand honneur et respect que je vous adresse ma plus grande reconnaissance.

MERCI POUR VOTRE SOUTIEN ET VOTRE ENCOURAGEMENT

ÉDICACES

D À ceux qui me sont les plus chers
À ceux qui ont toujours cru en moi
À ceux qui m'ont toujours encouragé

C'est avec une grande joie que je dédie ce travail spécialement

A mes chers parents, je vous offre ce modeste travail pour vous remercier pour vos sacrifices. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour à votre sujet.

A ma chère sœur et frères qui n'ont jamais cessé de m'encourager, de me conseiller et soutenir tout au long de mes études, j'arriverais jamais à exprimer ma gratitude.

A mes chers amis de cœur et à l'ensemble de ma famille j'exprime mes vifs remerciements pour vos prières et encouragements.

Me voilà arrivé à la fin d'un long et difficile parcours.

Vous étiez toujours présents pour me soutenir, m'écouter et me gâter, vous m'avez beaucoup aidé, je vous en serai toujours reconnaissante. Je vous aime bien et je vous dédie ce modeste travail.

Je ne saurais oublier toutes les autres personnes qui, de proche ou de loin ont contribué aussi bien dans ma réussite.

À tous nos enseignants et professeurs

Du primaire, passant par le collège, le lycée et enfin nous voilà à la faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem en Algérie.

Résumé

Ce travail consiste en premier lieu à maîtriser l'un des outils puissants de simulation des procédés utilisé à l'heure actuelle dans l'industrie des procédés en l'occurrence « *Aspen HYSYS* ».

En deuxième lieu, faire une simulation de la synthèse du méthanol en utilisant le simulateur « *ASPEN HYSYS V8.8* » et enfin terminer par l'exploitation des différents outils de dimensionnement des équipements, de control et d'analyse des résultats de ce logiciel.

Mots clés : Simulation, Méthanol et Aspen HYSYS.

Abstract

This work primarily involves mastering one of the powerful process simulation tools currently used in the process industries, namely “*Aspen HYSYS*”.

Second, make a simulation of methanol synthesis using the software «*ASPEN HYSYS V 8.8*» and finally finish with use of the various tools for sizing equipment, controlling and analyzing the results of this software.

Keywords: Simulation, Methanol and Aspen HYSYS.

TABLE DES MATIERES

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

CHAPIRE I : LE METHANOL

I.1. Introduction.....	3
I.2. Propriétés physiques.....	3
I.3. Propriétés chimiques	5
I.4. Les étapes de la production du méthanol	5
I.5. Utilisation du méthanol	6
I.5.1. Produit intermédiaire et combustible	6
I.5.2. Applications du méthanol dans les piles à combustible.....	6
I.5.3. Traitements des eaux usées.....	7
I.5.4. Production du biodiesel.....	7
I.5.5 Autres utilisations du méthanol.....	8
I.6 Toxicologie	8
I.6.1. Absorption.....	8
I.6.2 Incendie-explosion.....	9
I.6.3. Toxicité sur l'homme.....	9
I.7. Récipients de stockage.....	9
I.8. Conclusion.....	9

CHAPITRE II : LA SIMULATION ET ASPEN HYSYS

II.1. Introduction	11
II.2. Rôle et principe de fonctionnement des simulateurs.....	11
II.3. Type de simulation	12

II.4. Le simulateur « Aspen Hysys »	12
II.4.1 L'environnement dans « Aspen Hysys ».....	12
II.4.1.a. « Properties environment ».....	13
II.4.1.b. « Simulation environment ».....	13
II.5. Concept de base de « Aspen Hysys »	14
II.6. Caractéristiques principales de « Aspen Hysys »	15
II.7. Les modèles thermodynamiques dans « Aspen hysys »	16
II.7.1. Choix du modèle thermodynamique.....	16
II.7.2. Utilisations des modèles thermodynamique.....	16
II.7.3. Types des modèles thermodynamiques.....	16
II.8. Conclusion	17
 CHAPIRE III : SIMULATION DU PROCEDE DE SYNTHESE DU METHANOL	
III.1. Introduction	18
III.2. Choix du modèle thermodynamique « Fluid Package »	18
III.3. Les étapes et les équipements utilisés pour la simulation	19
III.4. Dimensionnement de la colonne de distillation	29
III.5. Etude des profils des paramètres de fonctionnement de la colonne de distillation en fonction du nombre de plateaux	31
III.5.1. Profil de température.....	31
III.5.2. Profil de pression.....	32
III.5.3. Profil de composition.....	33
 CONCLUSION GENERALE	 34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	35
ANNEXES	36

Liste des Abréviations

H: Hydrogène

O : Oxygène

C : Carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

H₂O : L'eau

CH₃OH: Méthanol

CH₃CL : Chlorure de méthyl

CH₄ : Méthane

CS₂ : Disulfure de carbone

SRK : Soave-Riedlich-Kwong

PR : Peng-Robinson Stryjek-Vera.

P : Pression

V : Volume

n : Nombre de moles

R : Constante des gaz parfaits

T : Température

Liste des Figures

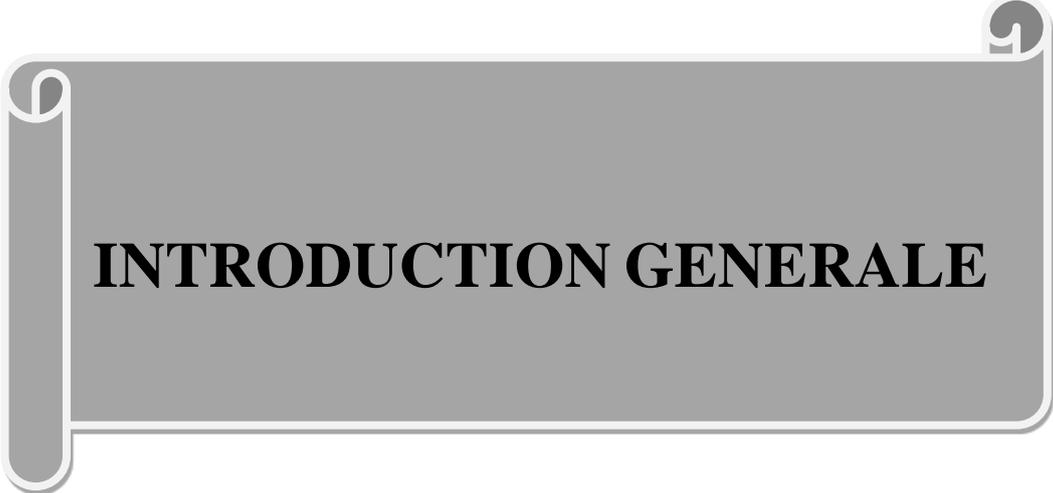
Figure I.1 : Schéma de la molécule de méthanol.....	3
Figure I.2 : Schéma des étapes de la production du méthanol.....	6
Figure II.1 : « Properties environment ».....	13
Figure II.2 : « Simulation Environment ».....	14
Figure III.1 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » du mélangeur.....	19
Figure III.2 : L'onglet « <i>Worksheet /Conditions</i> » de l'échangeur de chaleur.....	20
Figure III.3 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » du réacteur.....	20
Figure III.4 : L'onglet « <i>Reaction</i> » du réacteur.....	21
Figure III.5 : L'onglet « <i>Worksheet /Conditions</i> » du refroidisseur.....	21
Figure III.6 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » du séparateur.....	22
Figure III.7 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » du purgeur.....	22
Figure III.8 : L'onglet « <i>Worksheet /Conditions</i> » du compresseur.....	23
Figure III.9 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » de la colonne de distillation.....	24
Figure III.10 : L'onglet « <i>Design /Monitor</i> » de la colonne de distillation.....	24
Figure III.11 : L'onglet « <i>Worksheet /Conditions</i> » de la pompe.....	25
Figure III.12 : L'onglet « <i>Design /Connections</i> » du condenseur.....	26
Figure III.13 : L'onglet « <i>Worksheet /Conditions</i> » du condenseur.....	26
Figure III.14 : L'onglet « <i>Connections /Connections</i> » de l'opération de control.....	27
Figure III.15 : Flowsheet final de la simulation de la production du méthanol par le logiciel « <i>Aspen HYSYS</i> ».....	28
Figure III 16. Choix du type de l'interne de la colonne de distillation.....	29
Figure III.17. Paramètres du dimensionnement de la colonne de distillation.....	30

Figure III.18. L'auto dimensionnement calculé par « <i>Aspen Hysys</i> ».....	31
Figure III 19. Profil de température en fonction du nombre de plateaux.....	32
Figure III 20. Profil de pression en fonction du nombre de plateaux.....	32
Figure III.21. Profil de compositions molaires du méthanol et de l'eau en fonction du nombre de plateau.....	33

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Principales caractéristiques physiques du méthanol.....4

Tableau II.1 : Domaine d'application des deux équations d'état PR et SRK.....17



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le méthanol est un liquide clair qui a l'aspect de l'eau et n'a pas d'odeur perceptible à basses concentrations. Il est très utilisé dans les industries pour la production par exemple de formaldéhyde, acide acétique et produit organique etc.

A l'époque des égyptiens, le méthanol était produit par pyrolyse ; mais de nos jours il est obtenu à partir du reformage à la vapeur du gaz naturel pour créer du gaz de synthèse. D'où le gaz de synthèse joue un très grand rôle dans la production du méthanol.

Bien que le méthanol soit très utile dans l'industrie, il présente aussi des dangers sur l'homme et son environnement qui peuvent être maîtrisés à partir de quelques modes de protections.

Pour la conception du procédé de synthèse du méthanol, nous aurons recours à la simulation pour trouver le système le plus adapté non seulement en termes d'efficacité et de sécurité, mais aussi de coût et de rentabilité.

La simulation étudie le comportement d'un système. Elle permet, en particulier, d'étudier l'évolution du système en faisant varier un ou plusieurs facteurs et en confrontant les valeurs calculées aux valeurs observées.

Ainsi, le but de notre travail est de réaliser la simulation du procédé de synthèse du méthanol à l'aide du simulateur « *Aspen Hysys* ». Ce simulateur a l'avantage d'être convivial et facile à utiliser une fois que les éléments de base sont compris, il a été développé pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques. En plus, il dispose d'une interface graphique pour la construction des diagrammes de procédés (*PFD – Process Flow Diagrams*).

L'objectif principal de cette étude se situe dans la maîtrise du logiciel de simulation « *Aspen Hysys V8.8* » ainsi que l'exploitation de différents outils qui nous permettent d'analyser les résultats et cela en prenant la simulation du procédé de synthèse de méthanol à partir de CO_2 et H_2 comme exemple.

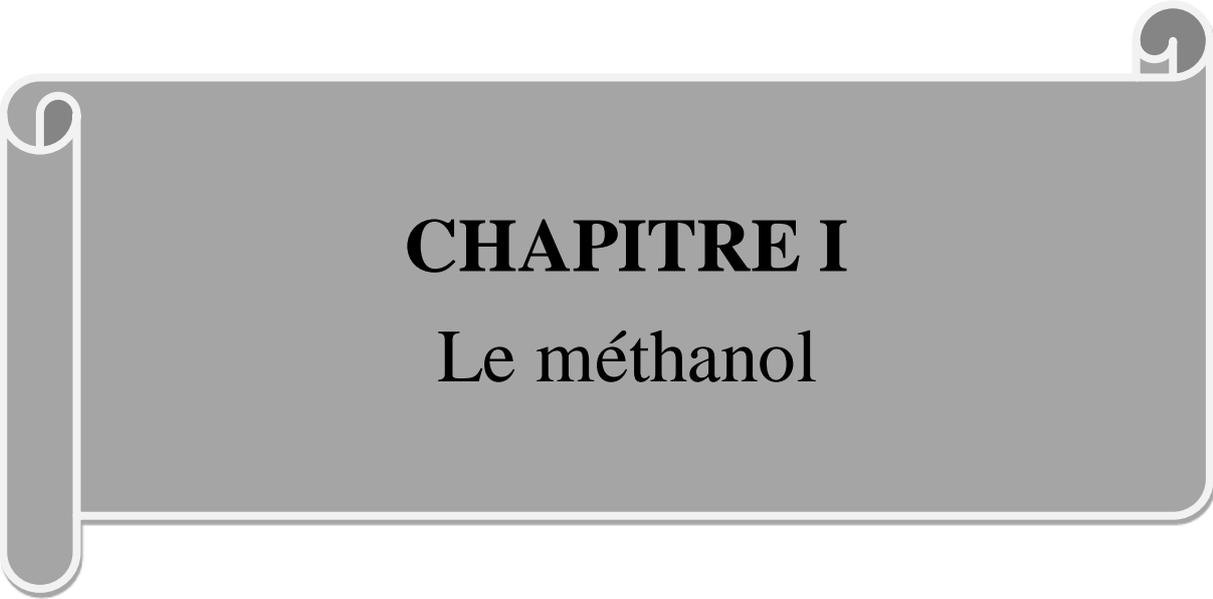
Ce travail présenté dans ce mémoire de master sera organisé de la manière suivante :

Un premier chapitre où nous présentons une étude théorique sur le méthanol.

Un deuxième chapitre qui donne une idée générale sur la simulation et particulièrement sur le logiciel utilisé « *Aspen Hysys V8.8* ».

Un troisième et dernier chapitre où on définit les étapes principales à la réalisation de la simulation de synthèse de méthanol ainsi que les résultats obtenus par celle-ci sont analysés et interprétés.

Finalement le travail se termine par des conclusions qui sont tirées et quelques recommandations qui sont proposées.



CHAPITRE I

Le méthanol

CHAPITRE I

Le méthanol

I.1. Introduction

Dans ce chapitre on va parler du méthanol qui est connu sous alcool méthylique, carbinol, alcool de bois, naphte de bois, ou esprit de bois est un composé organique de formule : CH_3OH souvent abrégé par MeOH . Le méthanol brûle dans l'air en formant du dioxyde de carbone et de l'eau.



Le méthanol est un liquide incolore qui a l'aspect de l'eau et n'a pas d'odeur perceptible à basses concentrations, il est inflammable et toxique.

La synthèse complète du méthanol a été effectuée par un physicien chimiste et philosophe britannique BERTHELOT suivant le cycle :

$\text{C} \rightarrow \text{CS}_2 \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$, en saponifiant le chlorure de méthyl final.

Le méthanol est produit principalement à partir du gaz de synthèse dont plus de 90% des unités de production utilisent le gaz naturel comme matière première parce qu'il est moins cher [2].

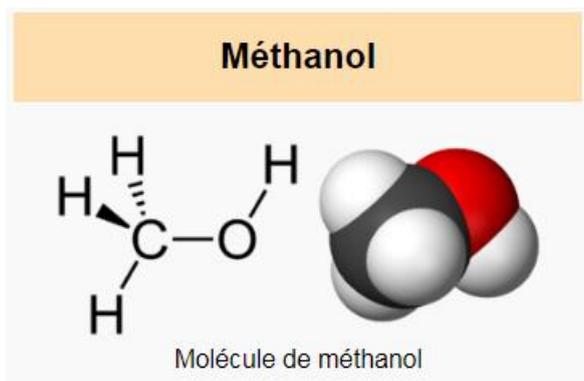


Figure I.1. Schéma de la molécule de méthanol.

I.2. Propriétés physiques

Le méthanol est un liquide mobile, incolore, volatil, d'odeur plutôt agréable quand il est pur. Les données relatives au seuil de détection olfactive sont discordantes, les chiffres de 5900, 1500, 100 et 3 ppm ayant été trouvés par les différents expérimentateurs.

Le méthanol est miscible à l'eau, le mélange se faisant avec dégagement de chaleur et contraction, et à la plupart des solvants organiques (alcools, éthers, cétones, ...).

Il dissout les graisses et un grand nombre de matières plastiques et de sels minéraux ; c'est à cet égard, un meilleur solvant que l'éthanol [4]-[10].

Tableau I.1. Principales caractéristiques physiques du méthanol.

<i>Masse molaire</i>	32,04 g.mol.
<i>Point de fusion</i>	- 97,8 °C
<i>Point d'ébullition</i>	64,5 °C
<i>Densité (D²⁰₄)</i>	0,7915
<i>Densité de vapeur (air = 1)</i>	1,11
<i>Pression de vapeur</i>	3,8 kPa à 0 °C 12,3 kPa à 20 °C 34,4 kPa à 40 °C
<i>Indice d'évaporation (oxyde de diéthyle = 1)</i>	6,3
<i>Point d'éclair en coupelle fermée</i>	12 °C
<i>Limites d'explosivité dans l'air (% en volume)</i>	<i>Limite inférieure</i> 6,7 % <i>Limite supérieure</i> 36,5 %
<i>Température d'auto-inflammation</i>	464 °C
<i>Coefficient de partage octanol/eau; log Pow</i>	0,74

I.3. Propriétés chimiques

Dans les conditions normales d'emploi, le méthanol est un produit chimiquement stable. Il possède les propriétés générales des alcools primaires (réactions d'oxydation, de déshydrogénation, de déshydrations et d'estérification).

Une oxydation brutale (par exemple combustion) le transforme en dioxyde de carbone et eau, alors qu'une oxydation ménagée conduit à l'aldéhyde formique, puis à l'acide formique. Le méthanol peut réagir avec les oxydants puissants tels que les mélanges nitro-chromiques ou sulfo-chromiques, l'acide nitrique, les peroxydes, les hypochlorites alcalins, le brome, le chlore et d'une manière générale, tous les composés organiques ou minéraux riches en oxygène et instables.

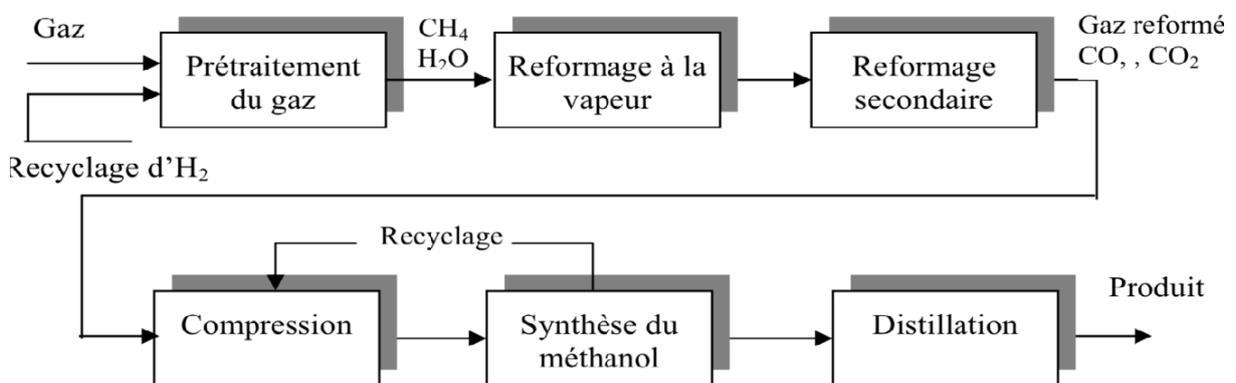
La réaction avec les métaux alcalins donne un méthylate avec un dégagement d'hydrogène et peut être brutale. La plupart des autres métaux sont insensibles au méthanol à l'exception du plomb, de l'aluminium et du magnésium [4] [10] [11].

I.4. Les étapes de la production du méthanol

La synthèse du méthanol s'effectue premièrement par le reformage catalytique du gaz naturel en présence de la vapeur d'eau pour la production d'un mélange gazeux constitué principalement du monoxyde de carbone CO, le dioxyde de carbone CO₂ et l'hydrogène H₂ connus sous le nom de gaz de synthèse. Ensuite ce dernier est suivi d'une synthèse en présence d'un catalyseur et sous pression dans un réacteur où se réalise la production du méthanol.

Le processus de production de méthanol peut être divisé en quatre étapes principales qui sont : Prétraitement de la charge, production du gaz de synthèse, synthèse du méthanol et sa purification [3].

Figure I.2. Schéma des étapes de la production du méthanol



I.5. Utilisation du méthanol

I.5.1. Produit intermédiaire et combustible

Le méthanol est utilisé essentiellement dans la production de produits chimiques et comme combustible. Il est utilisé de plus en plus dans le traitement des eaux usées et dans la production du biodiésel.

Le méthanol intervient aussi dans la production du formaldéhyde, de l'acide acétique et de toute une gamme de produits intermédiaires qui, serviront à créer d'autres dérivés chimiques. Ces dérivés sont utilisés dans un vaste éventail de produits dont le contreplaqué, les mousses, les résines et les plastiques.

L'industrie des combustibles, avec principalement la production du méthytertiobutyléther (MTBE), lequel est mélangé à l'essence pour réduire le volume des émissions nocives des véhicules automobiles, constitue l'autre grand volet de la demande de méthanol.

A une échelle plus réduite, le méthanol est utilisé comme combustible des piles à combustible.

I.5.2. Applications du méthanol dans les piles à combustible

Le méthanol est largement considéré comme un des combustibles les plus prometteurs pour les applications dans les piles à combustible mises au point actuellement pour les téléphones cellulaires, les ordinateurs portables et les moyens de transport sur courtes distances comme les scooters de proximité.

Plusieurs de ses propriétés font du méthanol une source idéale d'hydrogène pour les véhicules futurs à piles à combustible et un jour, sans doute, le méthanol sera une source d'énergie dans nos maisons.

I.5.3. Traitements des eaux usées

Les eaux usées qui parviennent à une unité de traitement présentent généralement des niveaux élevés d'ammoniac.

Un processus de dégradation bactérienne convertit cet ammoniac en nitrate. Ce nitrate est ensuite éliminé dans un processus de dénitrification mettant en œuvre un traitement chimique et une dégradation bactérienne.

Le méthanol est une simple molécule qui constitue une source de carbone idéale pour les bactéries utilisées dans la dénitrification.

L'addition de méthanol servant d'accélérateur, les bactéries anaérobiques convertissent rapidement le nitrate (NO_3) en azote (N_2), un gaz totalement inoffensif qui est libéré dans l'atmosphère.

I.5.4. Production du biodiesel

Le biodiesel est un carburant qui ne laisse pas de résidu de combustion et dont la fabrication se fait au départ de produits renouvelables non pétroliers comme :

Les huiles végétales dont l'huile de soja, de moutarde, de canola, de colza ou de palme ;

Les graisses animales dont les graisses de poulet, le suif ou les huiles de poissons ;

Les huiles de cuisson usagées et les graisses de récupération des restaurants.

Le biodiesel est un ester obtenu par la réaction chimique de ces huiles et des graisses avec un alcool, typiquement avec le méthanol. Bien qu'à peu près tous les alcools puissent être employés dans la réaction, c'est le méthanol qui est utilisé de préférence vu qu'il est relativement bon marché et qu'il permet une réaction très complète. Le processus utilise un volume de méthanol pour une production de 10 volumes de biodiesel.

I.5.5 Autres utilisations du méthanol

Le méthanol est utilisé également dans les applications suivantes :

Cristallisation, précipitation et nettoyage des sels d'halogénures des métaux alcalins ;

Précipitation des résines de polystyrène et de chloroprène ;

Nettoyage et séchage des fractions de charbon pulvérisé ;

Suppression de l'humidité et des résines du bois ;

Agent d'extraction dans les industries pétrolières, chimiques et agro-alimentaires ;

Combustible pour réchauds à fondue ;

Combustible pour réchauds de camping et chalumeaux à gaz ;

Dégivreur et liquide de lave-glace pour les véhicules automobiles ;

Antigel pour la déshydratation des pipelines

Comme solvant dans les vernis-laques, peintures, ciments, encres, antigels, colorants, plastiques et diverses peintures industrielles. C'est aussi un carburant pour les fusées [17].

I.6. Toxicologie

I.6.1. Absorption

Chez l'homme, comme chez l'animal de laboratoire, le méthanol peut être absorbé par l'ingestion, par inhalation ou par voie percutanée. Des essais sur volontaires ont notamment montré que :

Après une ingestion unique de méthanol, la concentration sanguine du produit est maximale après une heure environ (47 à 76 mg/l pour une dose de 70 à 84 mg/kg). Lors d'une exposition à des concentrations de 80 à 215 ppm, le taux de rétention pulmonaire est voisin de 55% quels que soient le temps d'inhalation et l'importance de la ventilation pulmonaire ; l'absorption percutanée peut conduire à des taux sanguins supérieurs à ceux obtenus pour une exposition à 200 ppm [12].

I.6.2. Incendie-explosion

Le méthanol est un liquide facilement inflammable (point d'éclair : 12°C en coupelle fermée) dont les vapeurs peuvent former des mélanges 6,7 à 36,5 % en volume). Les solutions aqueuses peuvent aussi s'enflammer aisément.

D'autre part, les oxydants puissants peuvent réagir vivement avec le méthanol.

Les feux de méthanol se caractérisent par des flammes importantes très peu visibles à la lumière du jour, un faible dégagement de fumées et un rayonnement thermique intense.

Les agents d'extinction préconisés sont les mousses spéciales pour les liquides polaires, les poudres, le dioxyde de carbone. En général, l'eau n'est pas recommandée car elle peut favoriser la propagation de l'incendie. On pourra toutefois l'utiliser sous forme pulvérisée pour éteindre un feu peu important ou pour refroidir les récipients exposés au feu et disperser les vapeurs [5] [8] [10].

I.6.3. Toxicité sur l'homme

Rares par inhalation ou par voie percutanée, les intoxications aiguës, par le méthanol sont au contraire fréquentes par ingestion, celle-ci pouvant être accidentelle, mais étant le plus souvent provoquée par la consommation d'alcool frelaté.

Le délai d'apparition de la symptomatologie est variable, de 10 à 48 heures selon, la dose ingérée. On y trouve :

■ Des signes non spécifiques

- Une dépression du système nerveux central, responsable d'un syndrome ébrié (vertiges, ataxie, céphalées, agitation) puis de troubles de conscience plus ou moins profonds, qui s'accompagnent parfois de convulsions, d'une dépression respiratoire, d'un collapsus cardio-vasculaire.
- Des signes d'irritation digestive (nausées, vomissements, douleurs digestives parfois).

■ Des signes propres à l'intoxication par le méthanol

Une acidose métabolique marquée, avec respiration rapide et ample, type Kussmaul son intensité est souvent importante avec un pH artériel inférieur à 7.

Il existe une grande variabilité entre les individus en ce qui concerne la résistance au méthanol. Des intoxications les plus graves, la mort peut survenir par défaillance respiratoire. Après une intoxication sévère, la récupération peut être totale, mais les séquelles oculaires sont relativement fréquentes (amputations du champ visuel, cécité complète) [12] [17].

I.7. Récipients de stockage

Le stockage du méthanol s'effectue généralement dans des récipients en acier. L'aluminium et certaines matières plastiques sont à éviter.

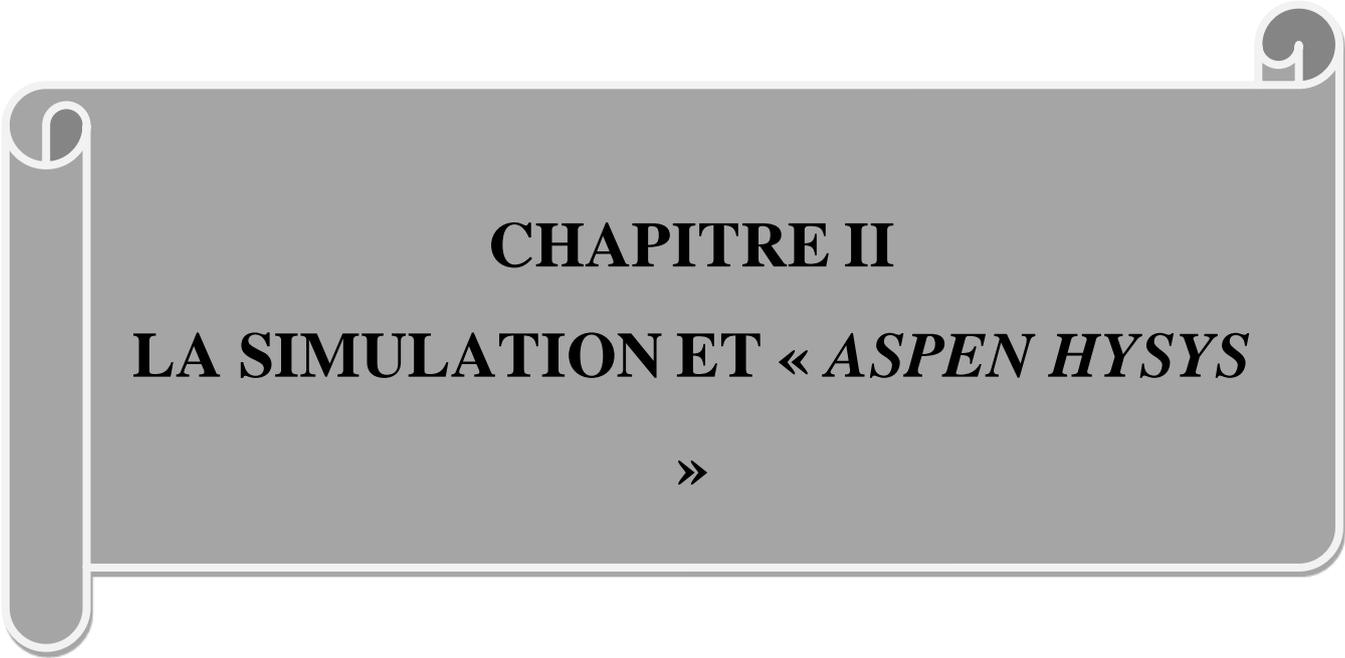
Le verre est utilisable pour de petites quantités ; dans ce cas, les récipients seront protégés par une enveloppe métallique plus résistante, convenablement ajustée [10].

I.8. Préventions

Bien que le méthanol puisse présenter des dangers, ceux-ci peuvent être maîtrisés. Pour réduire les effets sur les êtres humains l'environnement ou la communauté :

- Utiliser des fûts métalliques ou des récipients en verre, pas en plastique.
- Manipuler le produit dans les locaux bien ventilés ou utiliser un appareil de respiration.
- Porter des gants résistant aux produits chimiques et des lunettes de sécurité.
- Garder le méthanol hors de la portée des enfants.
- Etiqueter de façon claire tous les récipients.

- Eliminer les sources de chaleur, de feu, étincelles. Veiller à avoir des systèmes d'extinction directement disponibles.
- Garantir les locaux au moyen d'une enceinte.

A decorative graphic of a scroll, rendered in a light gray color, is positioned horizontally across the middle of the page. The scroll is unrolled, with its ends curling upwards. The text is centered within the unrolled portion of the scroll.

CHAPITRE II
LA SIMULATION ET « *ASPEN HYSYS* »

»

CHAPITRE II

LA SIMULATION ET « ASPEN HYSYS »

II.1 Introduction

La simulation est un outil utilisé souvent par les chercheurs et les ingénieurs pour étudier les résultats d'une action sur des éléments sans réaliser une vraie expérience permettant d'analyser le comportement du système avant de l'implémenter et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et différentes conditions opératoires. Elle s'appuie sur l'élaboration d'un modèle du système, et permet de réaliser de différents scénarios et d'en déduire le comportement du système physique analysé.

II.2. Rôle et principe de fonctionnement des simulateurs

Les simulateurs de procédés sont utilisés dans l'industrie, peuvent être considérés comme des modèles de connaissance. Ils sont basés sur la résolution des équations de bilan d'énergie et de matière, des équations d'équilibres thermodynamiques, et fournissent des informations de base pour la conception.

Ils sont principalement utilisés pour la conception de nouveaux procédés (analyse du fonctionnement, dimensionnement des équipements, pour différentes conditions opératoires, optimisation), pour l'optimisation de procédés existants et l'évaluation de changements effectués sur les conditions opératoires.

Les simulateurs disposent tous d'une base de données thermodynamiques contenant les propriétés des corps purs (masse molaire, température d'ébullition sous conditions normales, paramètres de tension de vapeur, ...). Cette base de données est enrichie d'un ensemble de modèles thermodynamiques permettant d'estimer les propriétés des mélanges.

Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour des modules suivants :

- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de décrire les liaisons entre les opérations unitaires utilisés constituant l'unité (*PFD* ou « *Process Flow Diagram* »).

- Des modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation...
- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles mathématiques.

Avec ce type de logiciel, les ingénieurs peuvent à partir des données des corps purs présents dans le procédé et du schéma du procédé, développer un modèle du processus reposant sur la mise en commun des équations décrivant les différentes opérations unitaires, les réactions chimiques, les propriétés des substances et des mélanges, qui puisse aussi communiquer avec d'autres applications comme Excel et Visual Basic.

II.3. Type de simulation

Il y a deux modes de fonctionnement dans un simulateur :

1. Les simulateurs statiques « *Steady State* »

La simulation d'un procédé vise à définir les propriétés des flux (débit, température, fraction vaporisée...) ainsi que les bilans de matière et d'énergie en régime stabilisé.

2. Les simulateurs dynamiques « *Dynamique State* »

La simulation dynamique d'un procédé vise à définir les propriétés des courants en fonction du temps pendant des situations transitoires ou le régime n'est pas stable.

II.4. Le simulateur « *Aspen Hysys* »

« *Aspen Hysys* » est un simulateur de conception « *Object-Oriented* » et un simulateur de calcul qui élargit continuellement les limites du processus en engineering software. Tout changement spécifié sur un élément est répercuté dans tout le modèle et permet de créer des modèles rigoureux statique et dynamique pour le design des unités.

II.4.1 L'environnement dans « *Aspen Hysys* »

Après l'ouverture de plusieurs simulations on remarque que « *Aspen HYSYS* » comporte plusieurs environnements. L'environnement dans ce simulateur est un espace de travail ou on peut accéder ou introduire des informations concernant la simulation, ces environnements peuvent être groupés en deux catégories :

- « *Properties Environment* »
- « *Simulation Environment* »

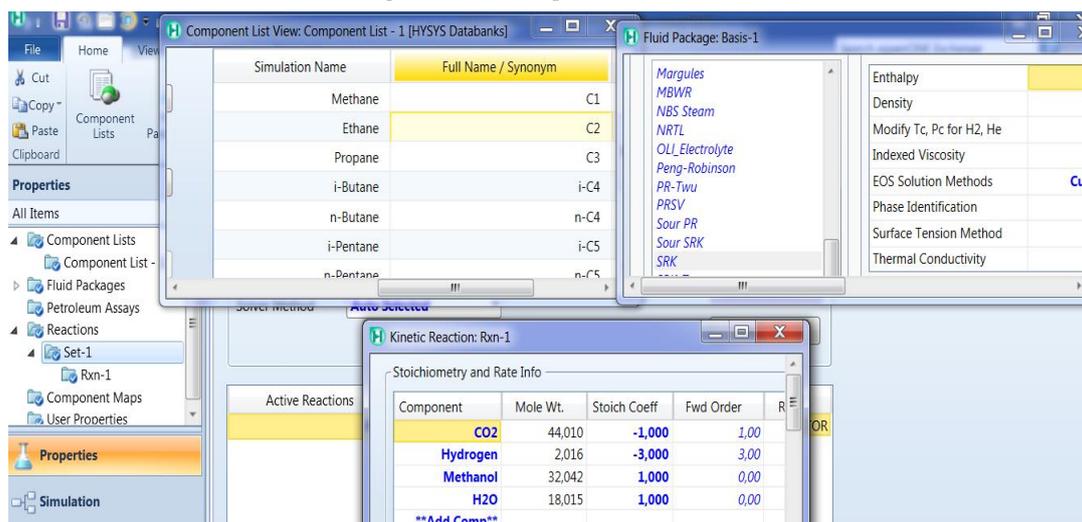
II.4.1.a. « *Properties environment* »

Lorsqu'on commence une nouvelle simulation (*New Case*) dans « *Aspen Hysys* », automatiquement on entre dans « *Properties Environment* ». Dans cet environnement on peut créer, définir ou modifier « *The Property Package* » qui va être utilisé dans la simulation.

« *The Property Package* » englobe :

- La liste des composés purs.
- Le modèle thermodynamique approprié (l'équation d'état) qui permet de prédire (prévoir) le comportement du mélange.
- Les pseudo-composés « *Hypotheticals* », ce sont les nouveaux composés chimiques qui n'existent pas dans la banque de données du logiciel et que l'utilisateur peut créer.
- Les réactions si elles existent.

Figure II.1. « *Properties environment* »



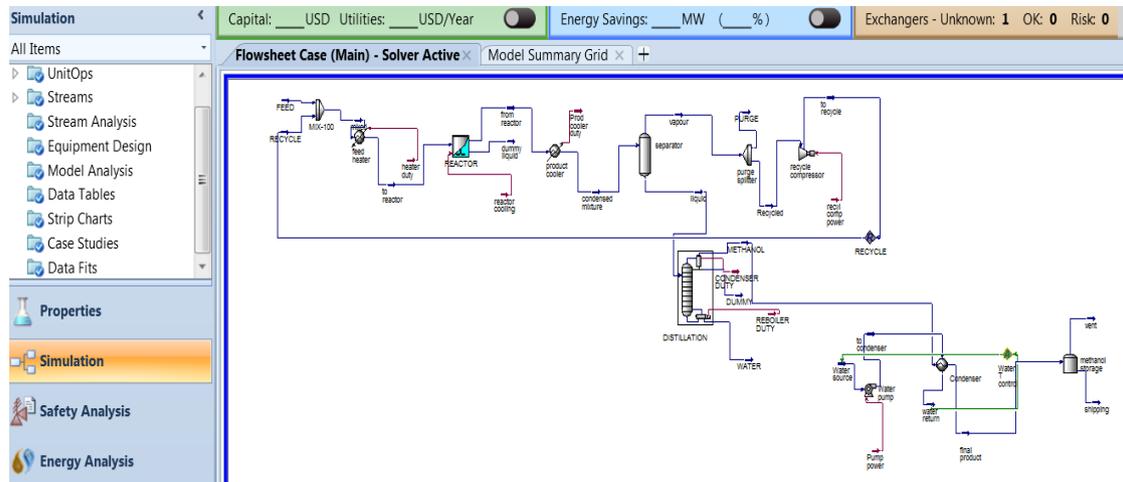
II.4.1.b. « *Simulation environment* »

C'est l'environnement principal de la simulation ou on trouve le flowsheet (courants et opérations unitaires), cet environnement peut contenir d'autres environnements, par exemple :

- « *Subflowsheet Environment* » (environnement du sous-Flowsheet).

- « *Column Subflowsheet Environment* » (environnement du sous flowsheet de la colonne).

Figure II.2. « *Simulation Environment* ».



II.5. Concept de base de « Aspen Hysys »

- « *Flowsheet* » : c'est un ensemble d'objets « *Flowsheet Elements* » (courants de matière, d'énergie et opérations unitaires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique « *Fluid Package* ». Ce simulateur possède une architecture « *Multi-Flowsheet* » car il n'y a pas de limite par rapport au nombre de « *Flowsheets* » pour les utiliser dans une autre simulation, ou organiser la description de procédés complexes en le scindant en « *Sous-Flowsheets* » (ceci permet de hiérarchiser un processus très complexe).
- « *Fluid Package* » : il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leurs affectés les propriétés chimiques et physiques contenues dans la base de données des corps purs. Il permet aussi de définir les modèles thermodynamiques qui seront utilisés pour le calcul des propriétés des mélanges et de définir les cinétiques des réactions chimiques mises en jeu dans le procédé.
- « *Process Flow Diagram* » PFD : Ce diagramme permet de visualiser les différentes opérations unitaires représentées par des icônes et connectées par des courants de matière et d'énergie.

- « *Workbook* » : il permet d'avoir accès à l'information sur les courants et les opérations unitaires sous forme de tableau de données.
- « *Desktop* » : c'est l'espace principale de « *HYSYS* » pour visualiser les fenêtres lors de la conception.
- « *Property View* » : il contient l'information décrivant un objet (opération ou courant).
- « *Simulation case* » (fichier de simulation) : C'est l'ensemble de « *Fluid Packages* », « *Flowsheets* » et « *Flowsheet Elements* » qui constituent le modèle.

II.6. Caractéristiques principales de « Aspen Hysys »

Les caractéristiques les plus utilisés du simulateur « *Aspen Hysys* » sont surtout :

- « *The Integrated Engineering Environment* » : toutes les applications nécessaires sont utilisées dans un environnement de simulation commun.
- Il intègre la possibilité d'une modélisation dans un état stable ou stationnaire et en régime dynamique. La modélisation dans un état stable et l'optimisation étant utilisées lors de la conception des procédés ; la simulation en régime dynamique étant réservée aux études de contrôlabilité de procédés et au développement de stratégies de contrôle.
- « *Aspen Hysys* » contient un « *Internal Macro Engine* » qui supporte la même syntaxe que « *Microsoft Visual Basis* », donc on peut appliquer différentes tâches dans « *Aspen Hysys* » sans avoir besoin d'autres logiciels de programmation.
- « *Event Driven* » ou gestion des événements car « *Aspen Hysys* » combine le calcul interactif (les calculs sont exécutés automatiquement chaque fois que l'on fournit une nouvelle information, à tout moment il est possible d'accéder à l'information depuis n'importe quel environnement de simulation).
- « *Built-In Intelligence* » ou gestion intelligente de l'information où les calculs des propriétés thermodynamiques s'effectuent instantanément et automatiquement dès qu'une nouvelle information est disponible.
- Opérations modulaires : Chaque courant ou unité d'opération peut réaliser tous les calculs nécessaires, en utilisant l'information qui est transmise dans les deux directions à travers les « *Flowsheets* ».

- Algorithme de résolution non séquentielle : il est possible de construire des « *Flowsheets* » dans n'importe quel ordre.

II.7. Les modèles thermodynamiques dans « Aspen Hysys »

Le logiciel offre une panoplie de modèles thermodynamiques pour le calcul des propriétés thermodynamique et décrire le comportement d'un système en évolution (opération unitaire , séparation de phases, fractionnement de composants, compression, détente, échange de chaleur... etc.), ce sont des équations de conservation de masse, d'énergie et de quantités de mouvement, ces équations peuvent être algébrique ou différentielles, et établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions pression et de température recommandée.

a. Choix du modèle thermodynamique

La réussite de la simulation dépend surtout du modèle thermodynamique. Pour choisir un modèle thermodynamique, c'est délicat car il doit aboutir à une méthode relativement validée dans les conditions du procédé (conditions opératoires, nature des fluides étudiés...)

b. Utilisations des modèles thermodynamique

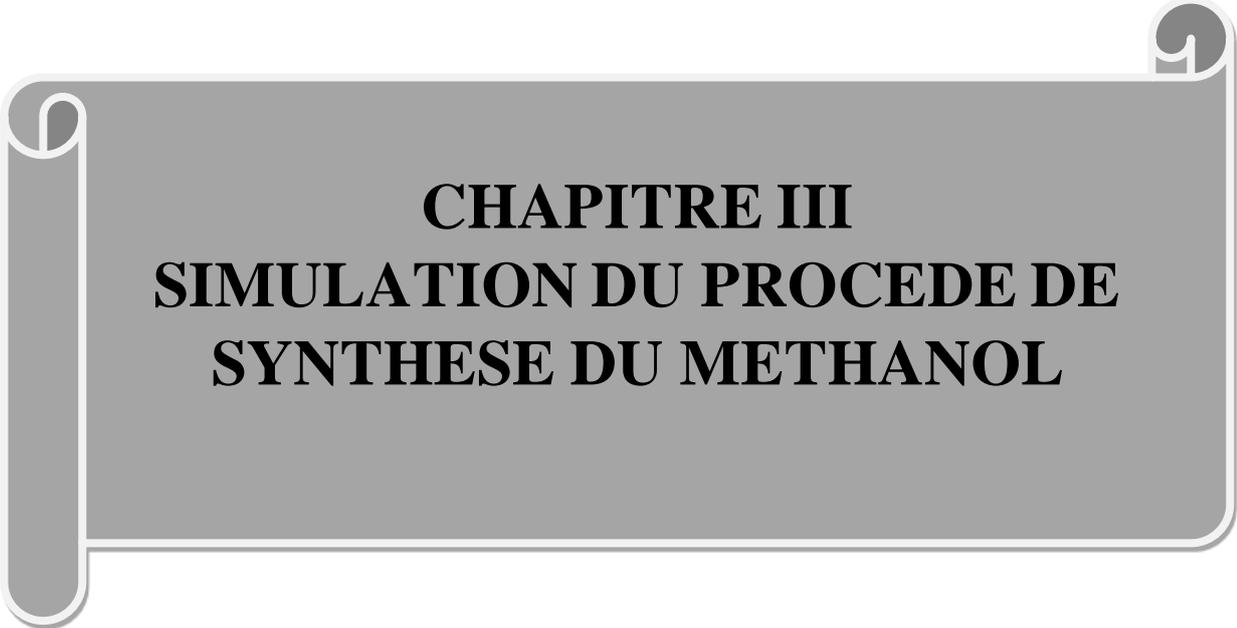
Les modèles thermodynamiques sont souvent utilisés pour la détermination des propriétés thermodynamique et propriétés physico-chimiques tel que, le volume molaire, la masse volumique, la masse moléculaire, le facteur de compressibilité ,l'enthalpie résiduelle, l'énergie libre résiduelle, l'entropie, le coefficient de fugacité, la constante d'équilibre liquide vapeur et l'ensemble de dérivées de ces propriétés par rapport à la température et aux fractions molaires ainsi que l'état des composés et des mélanges.

c. Types des modèles thermodynamiques

Modèles basés sur les équations d'état (PR, SRK, ...etc) sont souvent utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbures et des systèmes presque idéaux. Leurs avantages par rapport aux autres modèles résident sur le fait de l'utilisation des coefficients d'interaction binaire. Ces équations sont très largement utilisées dans les modèles de simulation en production et traitement de gaz, le plus souvent utilisées sont Peng – robinson (PR) et Soave–Redlich-Kwong (SRK) et leur domaine d'applicabilité est indiqué dans le tableau II.3.

Tableau II.3. Domaine d'application des deux équations d'état PR et SRK.

Modèle	Température (°C)	Pression (Kpa)
SRK	> -143	< 35000
PR	> -271	< 100000



CHAPITRE III
SIMULATION DU PROCEDE DE
SYNTHESE DU METHANOL

CHAPITRE III
SIMULATION DU PROCÉDE DE SYNTHÈSE DU METHANOL

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on utilise le simulateur « *Aspen Hysys V8.8* » pour réaliser la simulation du procédé de la synthèse du méthanol. L'objectif d'utiliser ce simulateur est d'améliorer nos connaissances dans le domaine de la simulation et d'exploiter différents outils d'analyse des résultats dans ce logiciel.

Le méthanol peut être produit à partir d'hydrogène plus de monoxyde de carbone et/ou de dioxyde de carbone selon les réactions suivantes :



Des études récentes suggèrent que la première réaction se déroule en fait comme :



Suivi de la deuxième réaction.

Pour cette simulation, nous travaillerons avec la version la plus simple, avec la deuxième réaction uniquement.

III.2. Choix du modèle thermodynamique « *Fluid Package* »

Pour l'étude des propriétés des gaz réels ou des mélanges les plus complexes, il existe des équations d'état qui relient les paramètres d'équilibre du système particulièrement dans le domaine des hydrocarbures.

La loi qui soutient le modèle des gaz idéaux est définie par l'équation ci- dessous :

$$PV = n R T \quad (\text{III.4})$$

Cette dernière n'est pas valable pour les gaz réels pour cela on utilise le plus souvent un diagramme thermodynamique, un tableau de propriétés thermodynamique, ou un jeu d'équations d'état couvrant les diverses zones de pression et température nécessaires. De nombreuses équations d'état ont été proposées et continuent d'être mises au point.

Parmi ces équations on cite : l'équation de Peng Robinson, l'équation de Redlich Kwong, et celle de Lee Kesler Plocker.

Les équations de Peng-Robinson (PR) et de Soave –Redlich-Kwong (SRK) sont largement utilisées dans l'industrie des hydrocarbures et particulièrement pour le raffinage et le traitement de gaz. Leurs avantages résident dans le fait qu'elles nécessitent peu de données expérimentales, un temps de simulation relativement court surtout qu'elles conduisent à une bonne estimation des équilibres liquide vapeur pour les hydrocarbures.

III.3. Les étapes et les équipements utilisés pour la simulation

Dans cette partie, on va décrire les équipements utilisés pendant les différentes sections pour la simulation du procédé, puis les résultats obtenus seront discutés et analysés.

➤ SECTION DE PRODUCTION

- **Mélangeur (*Mixer*)** : En premier lieu on a le CO₂ et le H₂ comme courant d'alimentation qui va être mélangé avec un courant de recyclage avant d'être envoyé à un échangeur de chaleur.

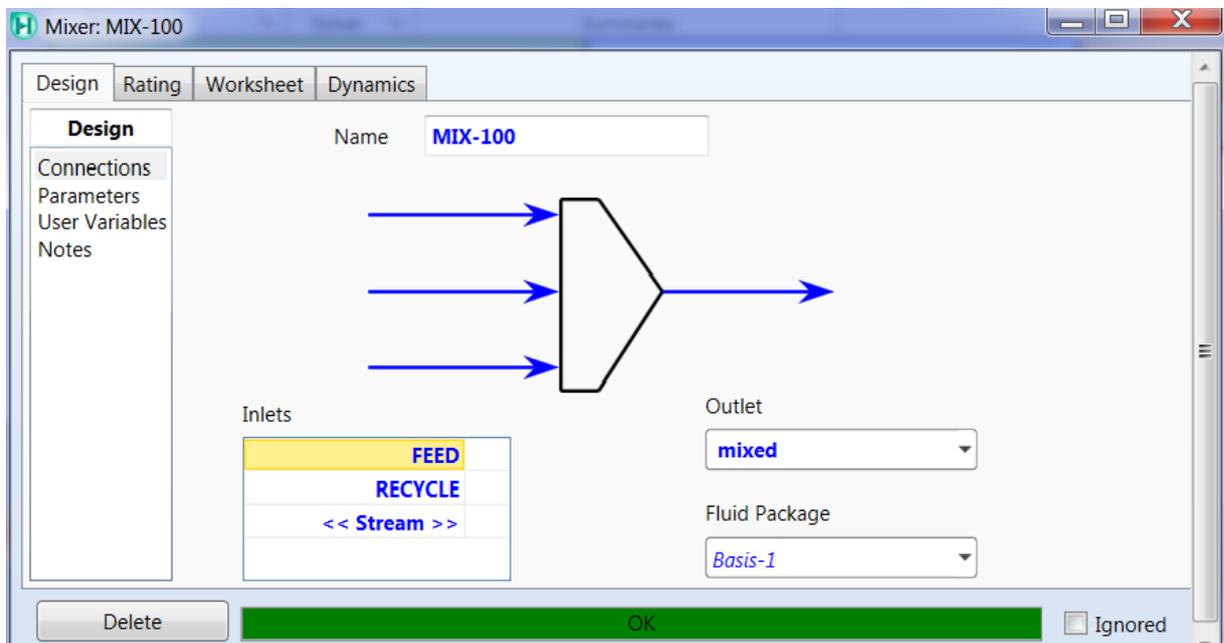


Figure III.1. L'onglet « Design/Connections » du mélangeur.

- **Echangeur de chaleur (*Feed Heater*)** : Le flux sortant du mélangeur va être chauffé dans un échangeur de chaleur, pour augmenter sa température, qui sera adéquate pour pouvoir traverser le réacteur.

Worksheet	Name	mixed	to reactor	heater duty
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	44,43	200,0	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	4000	3950	<empty>
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	341,8	341,8	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	2533	2533	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	10,92	10,92	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-4,982e+004	-4,507e+004	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	103,9	116,2	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-1,703e+007	-1,540e+007	1,626e+006

Figure III.2. L'onglet « Worksheet/Conditions » de l'échangeur de chaleur.

- Réacteur (CSTR) :** Le flux chauffé entre dans un réacteur agité de type CSTR « *Continuous Stirred Tank Reactor* » où se réalise la réaction (III.2) pour donner du méthanol et de l'eau. Le réacteur doit être refroidi pour maintenir la température à la sortie identique à celle de l'entrée, sachant que la réaction est exothermique. Dans ce type de réacteur on doit spécifier ses dimensions nécessaires à la simulation.

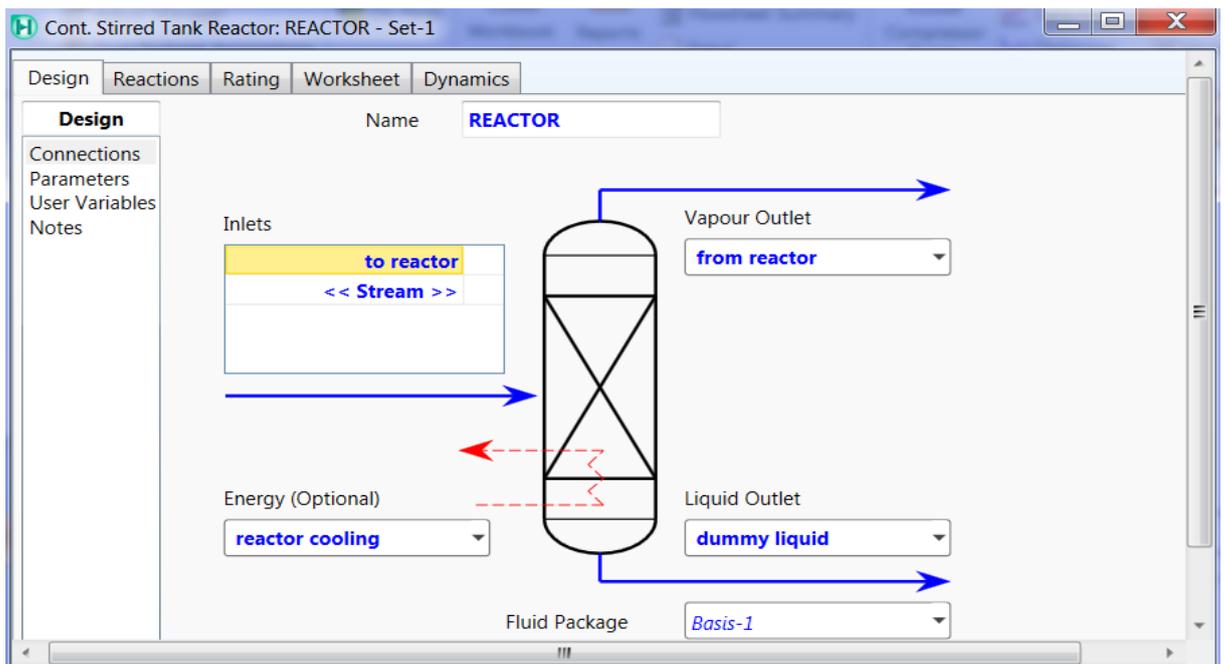


Figure III.3. L'onglet « Design/Connections » du réacteur.

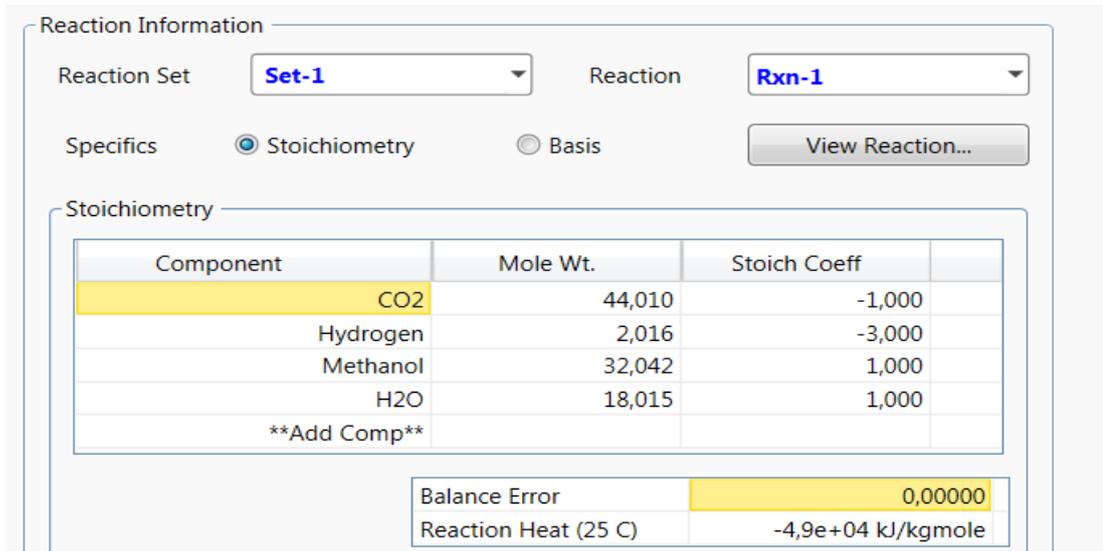


Figure III.4. L'onglet « Reaction » du réacteur.

- **Refroidisseur (Product Cooler) :** L'étape suivante est d'installer un refroidisseur « Cooler » pour condenser le méthanol et l'eau et pouvoir recycler les gaz qui sont principalement du CO₂ et H₂.

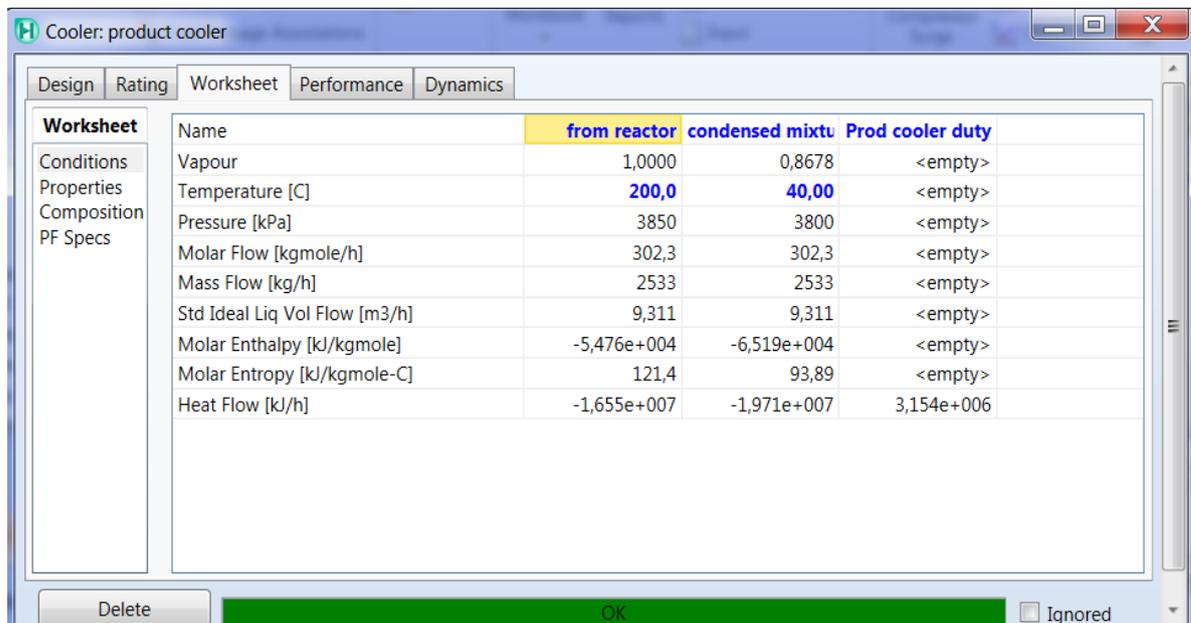


Figure III.5. L'onglet « Worsheet/Conditions » du refroidisseur.

CHAPITRE III : SIMULATION DU PROCEDE DE SYNTHESE DU METHANOL

- **Séparateur (*Separator*)** : Le séparateur a pour rôle de séparer les deux phases liquide et vapeur, la phase liquide (eau + méthanol) sera dirigée vers la section de séparation et la phase vapeur ($\text{CO}_2 + \text{H}_2$) vers le recyclage.

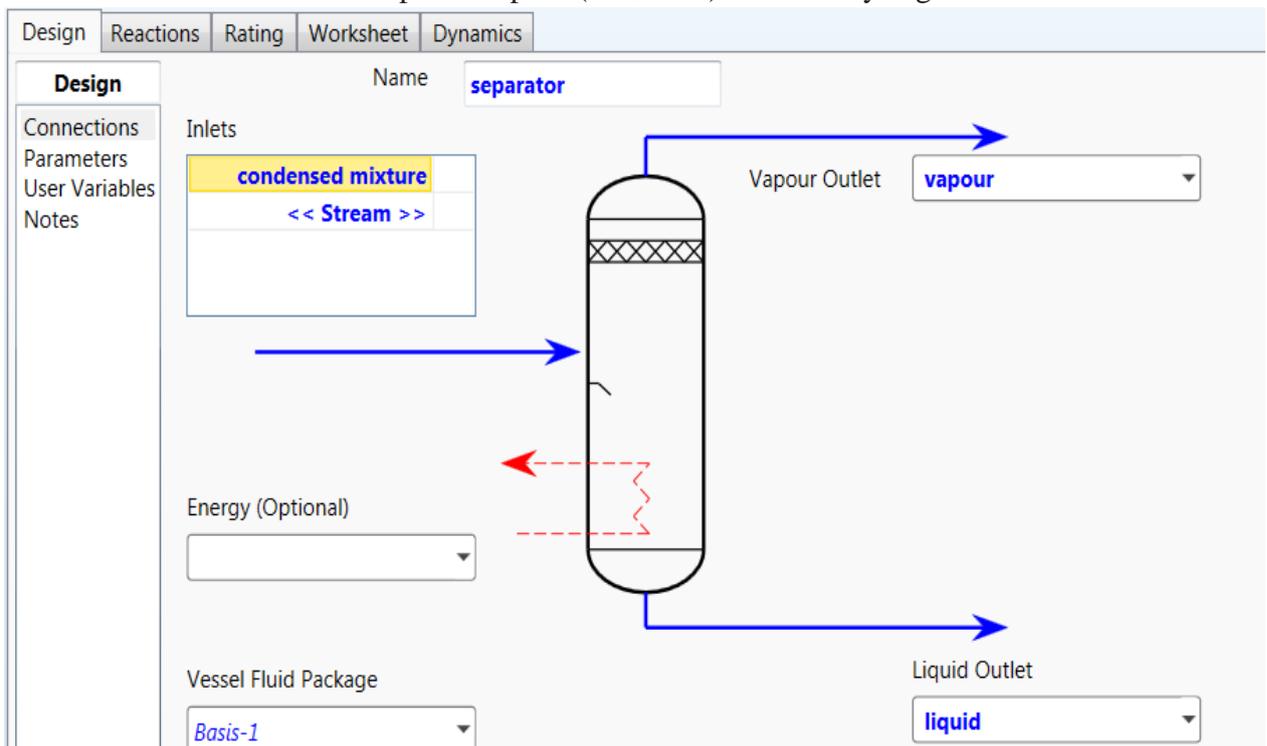


Figure III.6. L'onglet « Design/Connections » du séparateur.

- **Purgeur (*TEE*)** : Avant de recycler la vapeur on doit installer un purgeur pour éviter l'accumulation de la vapeur incondensable dans la boucle.

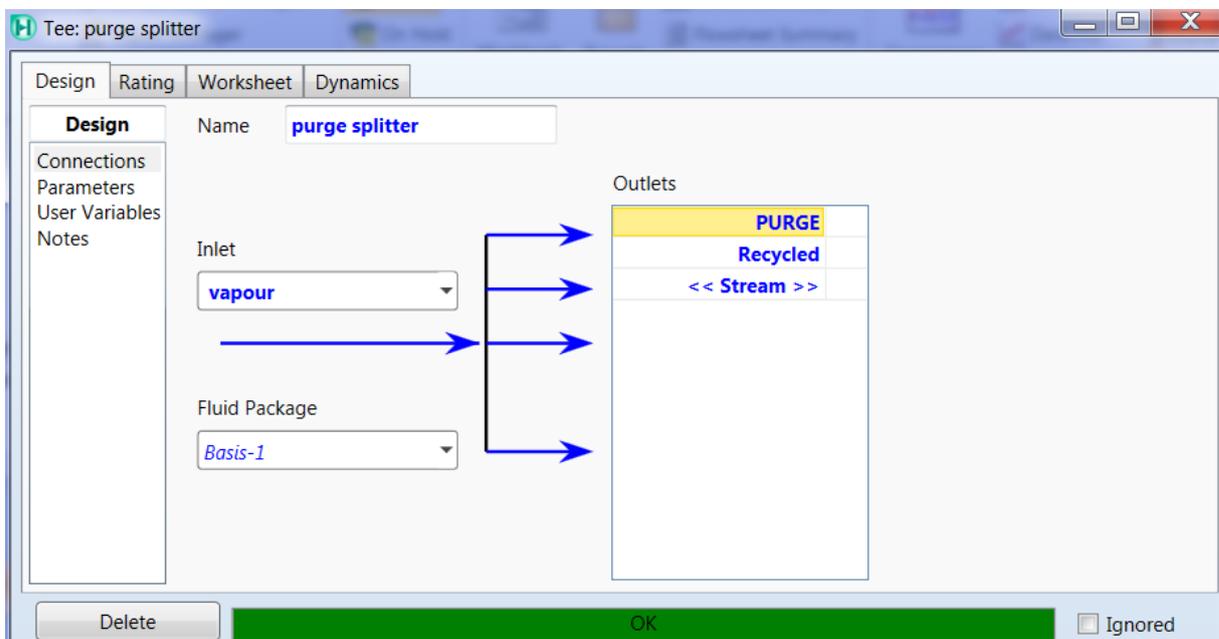
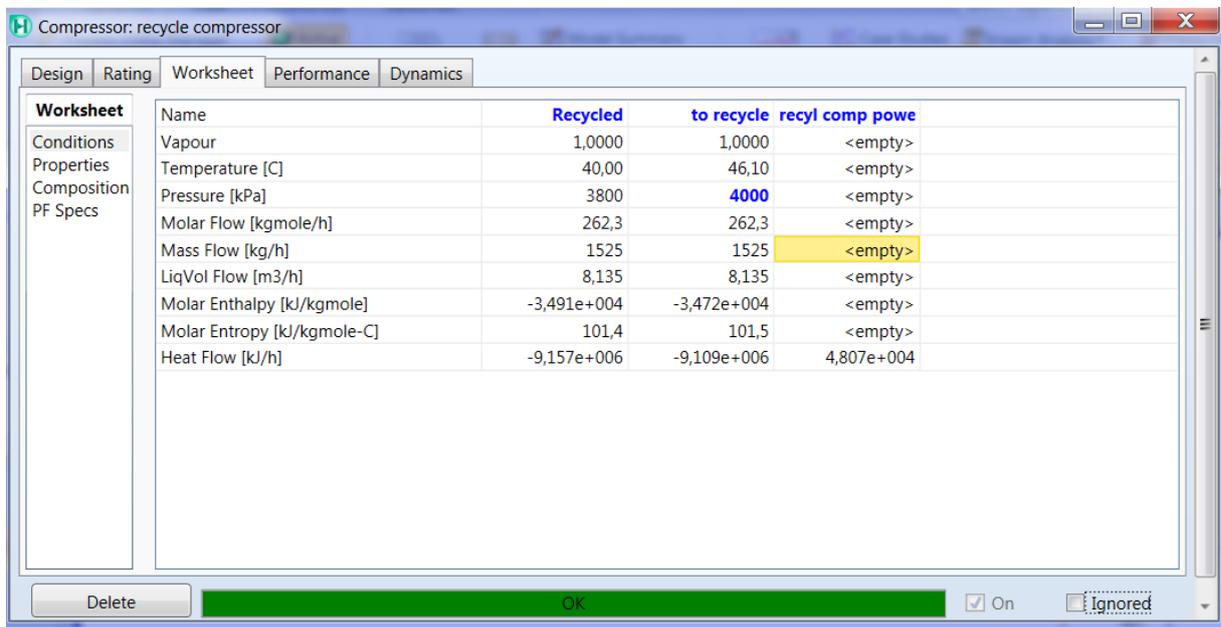


Figure III.7. L'onglet « Design/Connections » du purgeur.

- **Compresseur (*Recycle Compressor*)**: Le courant de recyclage est à une pression inférieure à celle de l'alimentation donc on installera un compresseur pour augmenter sa pression et pouvoir l'injecter dans le « *Mixer* ».



	Recycled	to recycle	recyl comp powe
Name	1,0000	1,0000	<empty>
Vapour			<empty>
Temperature [C]	40,00	46,10	<empty>
Pressure [kPa]	3800	4000	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	262,3	262,3	<empty>
Mass Flow [kg/h]	1525	1525	<empty>
LiqVol Flow [m3/h]	8,135	8,135	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3,491e+004	-3,472e+004	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	101,4	101,5	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-9,157e+006	-9,109e+006	4,807e+004

Figure III.8: L'onglet « *Worksheet/Conditions* » du Compresseur

- **Recyclage (*Recycle*)**: Afin de fermer la boucle de recyclage on installe une opération de type « *Recycle* ».

➤ SECTION DE SEPARATION DU PRODUIT

- **Colonne de distillation (*Distillation column*)**: La colonne de distillation a pour rôle de faire la séparation entre le méthanol qui va être récupéré en tête de colonne et l'eau au fond de la colonne, notre objectif sera :
 - 97% du méthanol entrant dans la colonne doit être récupéré dans le distillat.
 - Le méthanol produit contient 1% (massique) d'eau.

CHAPITRE III : SIMULATION DU PROCÉDE DE SYNTHÈSE DU METHANOL

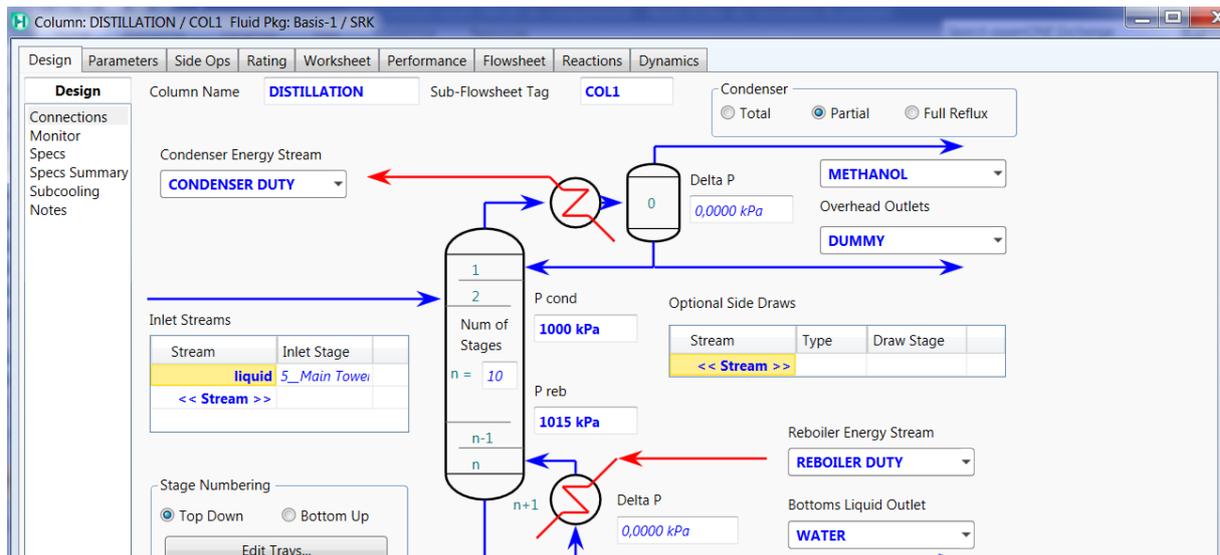


Figure III.9. L'onglet « Design/Connections » de la colonne de distillation.

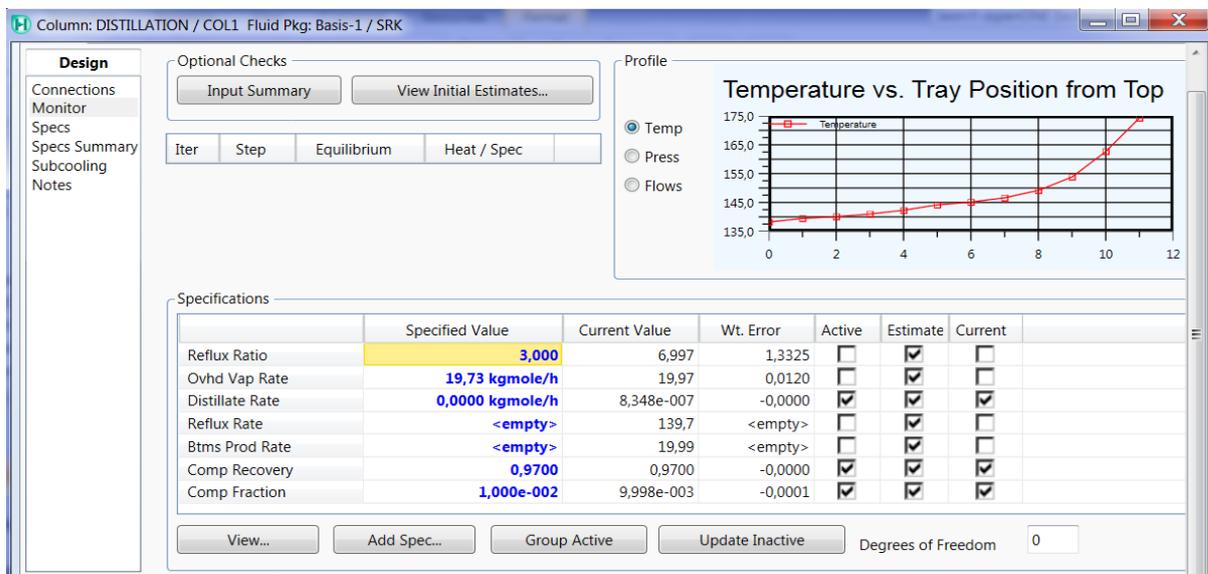


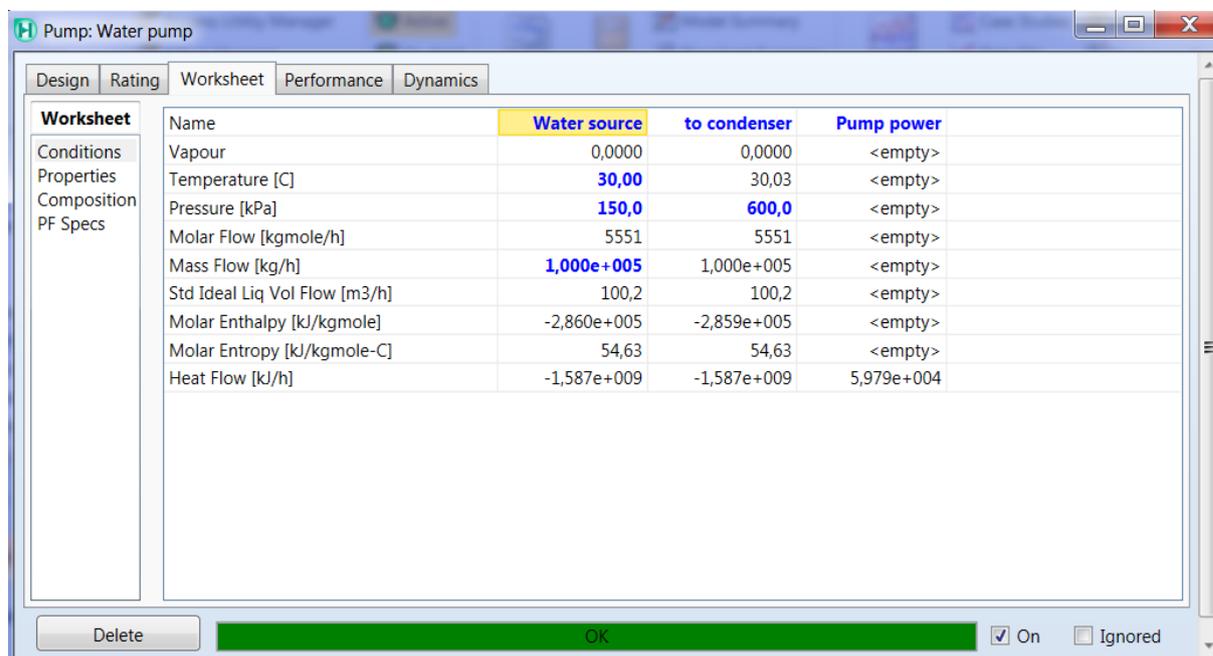
Figure III.10. L'onglet « Design/Monitor » de la colonne de distillation.

- SECTION DE STOCKAGE DU PRODUIT

Maintenant, nous allons passer à l'étape finale du procédé qui consiste à condenser le méthanol et le préparer pour le stockage.

CHAPITRE III : SIMULATION DU PROCEDE DE SYNTHESE DU METHANOL

- **Pompe (Water pump)** : On va ajouter une source d'eau froide qui sera pompée à une pression de 600 kPa. Initialement nous estimons un débit très élevé pour s'assurer qu'il y aura assez d'eau froide dans l'échangeur de chaleur, mais pendant la conception de ce dernier on réduit le débit à une valeur raisonnable en utilisant une opération unitaire de control « *Adjust* ».



	Water source	to condenser	Pump power
Name	0,0000	0,0000	<empty>
Vapour			
Temperature [C]	30,00	30,03	<empty>
Pressure [kPa]	150,0	600,0	<empty>
Composition			
PF Specs			
Molar Flow [kgmole/h]	5551	5551	<empty>
Mass Flow [kg/h]	1,000e+005	1,000e+005	<empty>
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	100,2	100,2	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,860e+005	-2,859e+005	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	54,63	54,63	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-1,587e+009	-1,587e+009	5,979e+004

Figure III.11. L'onglet « *Worksheet/Conditions* » de la pompe.

- **Condenseur (Heat Exchanger)** : L'échangeur de chaleur est utilisé dans le but de refroidir et condenser le méthanol à une température proche de 40°C et le courant d'eau froide doit sortir à 45°C.

CHAPITRE III : SIMULATION DU PROCEDE DE SYNTHESE DU METHANOL

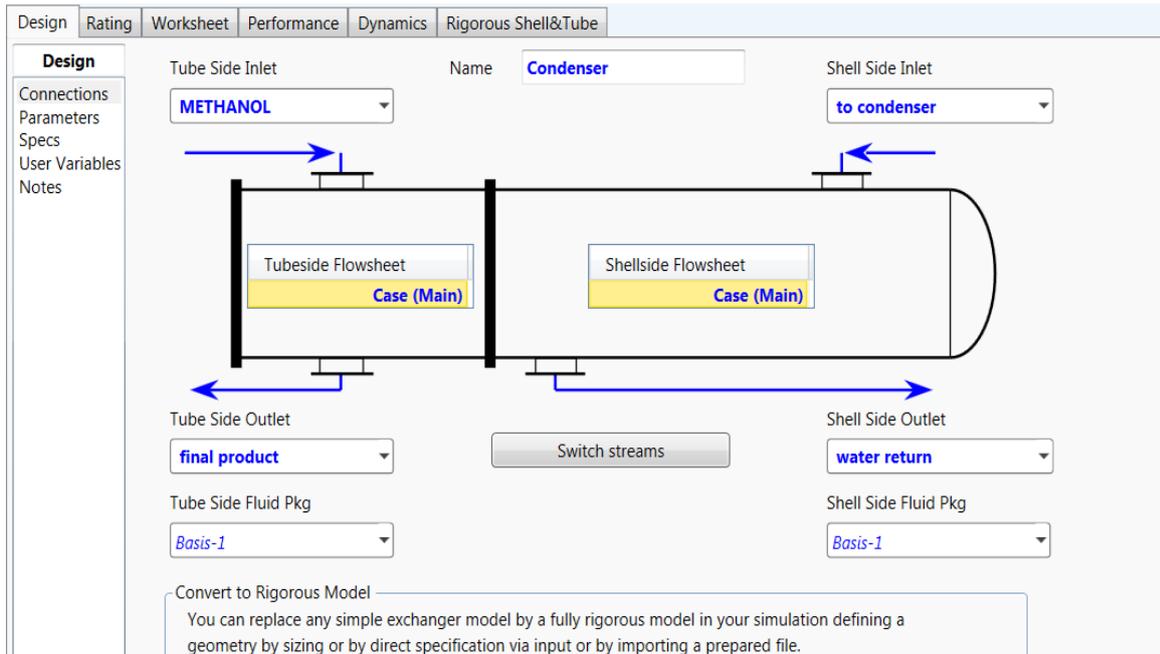


Figure III.12. L'onglet « Design/Connections » du condenseur..

	METHANOL	final product	to condenser	water return
Name	METHANOL	final product	to condenser	water return
Vapour	1,0000	0,0007	0,0000	0,0000
Temperature [C]	138,2	40,28	30,03	31,98
Pressure [kPa]	1000	950,0	600,0	550,0
Molar Flow [kgmole/h]	19,97	19,97	5551	5551
Mass Flow [kg/h]	639,5	639,5	1,000e+005	1,000e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,8016	0,8016	100,2	100,2
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,019e+005	-2,450e+005	-2,859e+005	-2,858e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	133,5	23,93	54,63	55,14
Heat Flow [kJ/h]	-4,031e+006	-4,892e+006	-1,587e+009	-1,586e+009

• **Figure III.13.** L'onglet « Worksheet/Conditions » du condenseur.

- **Water control (Adjust) :** Cette opération a pour rôle de modifier la valeur d'un paramètre afin d'amener un autre paramètre à une valeur spécifiée. Pour notre cas on a

contrôlé le débit de la source d'eau froide tout en maintenant sa température à la sortie de l'échangeur de chaleur à 45°C.

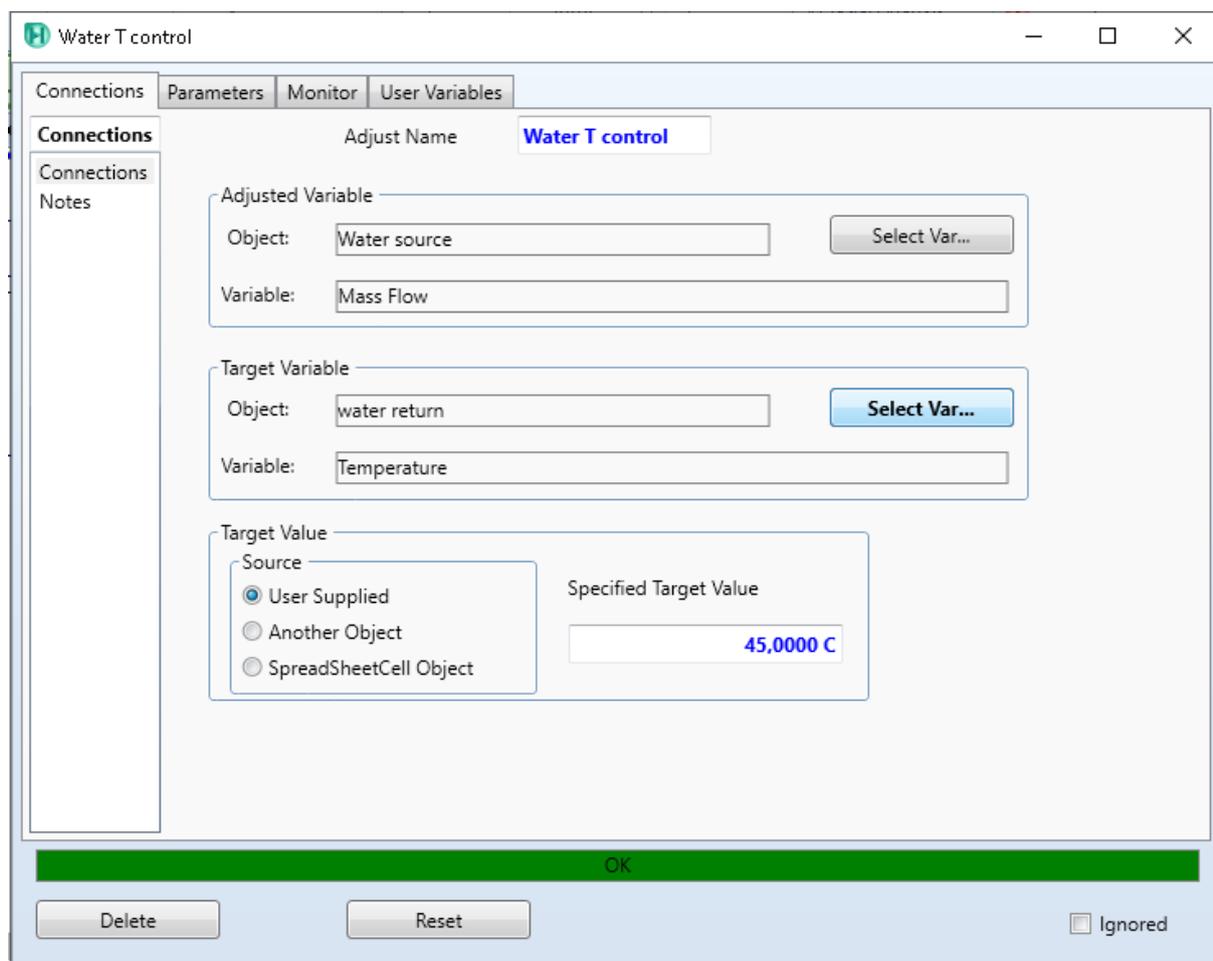


Figure III.14. L'onglet « *Connections/Connections* » de l'opération de control.

Pour conclure cette simulation on peut dire que notre procédé se résume en trois sections : La synthèse, la séparation et le stockage du produit et on aura le « *flowsheet* » final sur la figure III.15.

Lien de la simulation :

<https://drive.google.com/file/d/118yCsIR0W8y-zuuis-rbcWSMAjeBWDpK/view?usp=sharing>

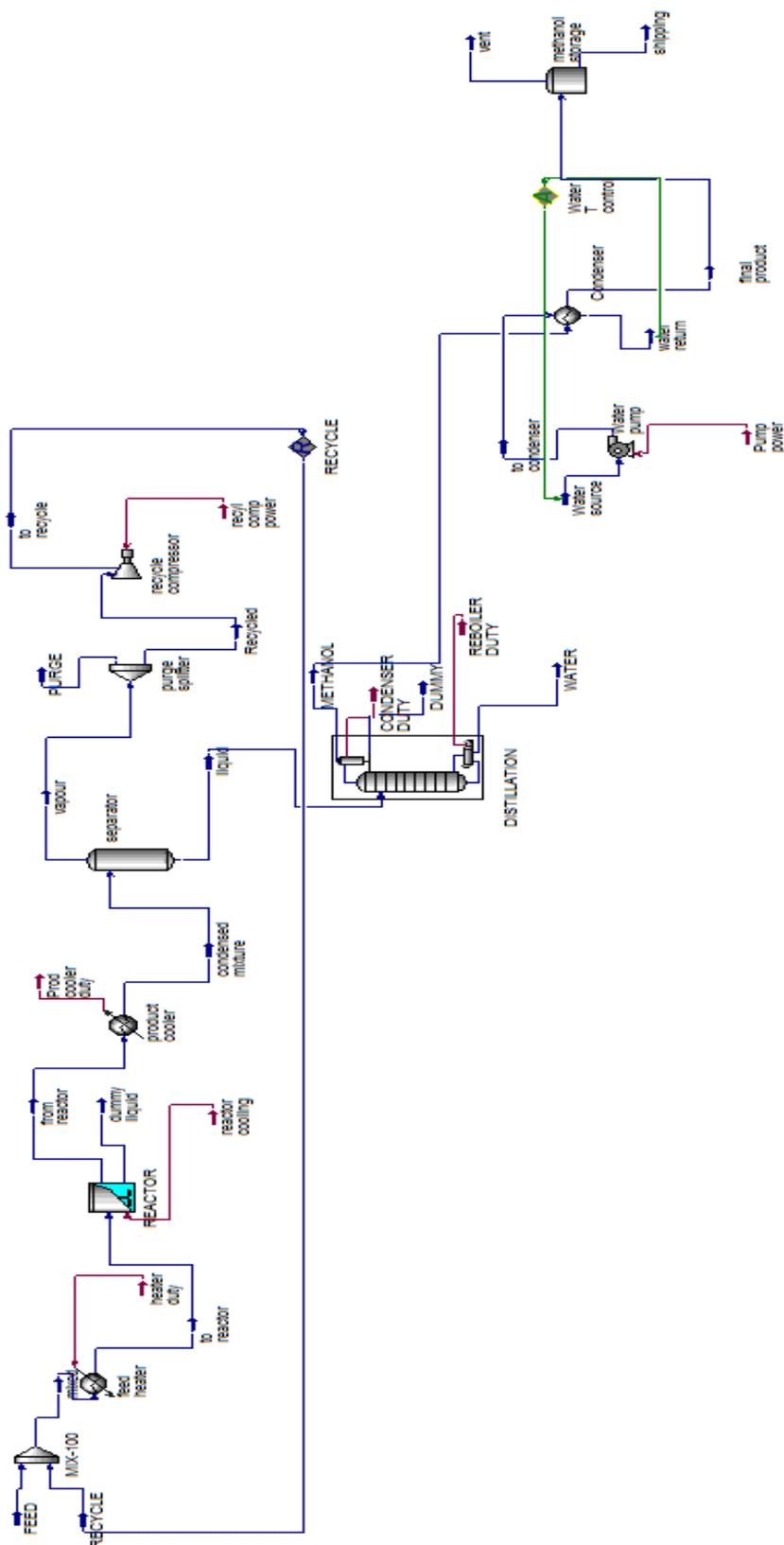


Figure III.15. « Flowsheet » final de la simulation de la production du méthanol par le logiciel « Aspen HYSYS »

III.4. Dimensionnement de la colonne de distillation

Les internes de colonne sont des dispositifs permettant d'assurer un contact intime entre le gaz et le liquide de manière à approcher au mieux l'équilibre de composition. On distingue trois types d'internes de colonne : les plateaux, le garnissage structuré et le garnissage vrac. Le choix d'internes de colonne dépend des critères de pertes de charges, encombrement, efficacité, débit, encrassement, flexibilité, coût...

« Aspen Hysys » possède l'outil « Tray Sizing » qui consiste à faire un dimensionnement ou un auto dimensionnement des internes des colonnes. Pour notre cas on va choisir les plateaux à clapets « Valve Trays » comme dispositif interne où « Aspen Hysys » va créer automatiquement des sections pour la colonne en fonction des emplacements de l'alimentation et du soutirage ou des débits internes.

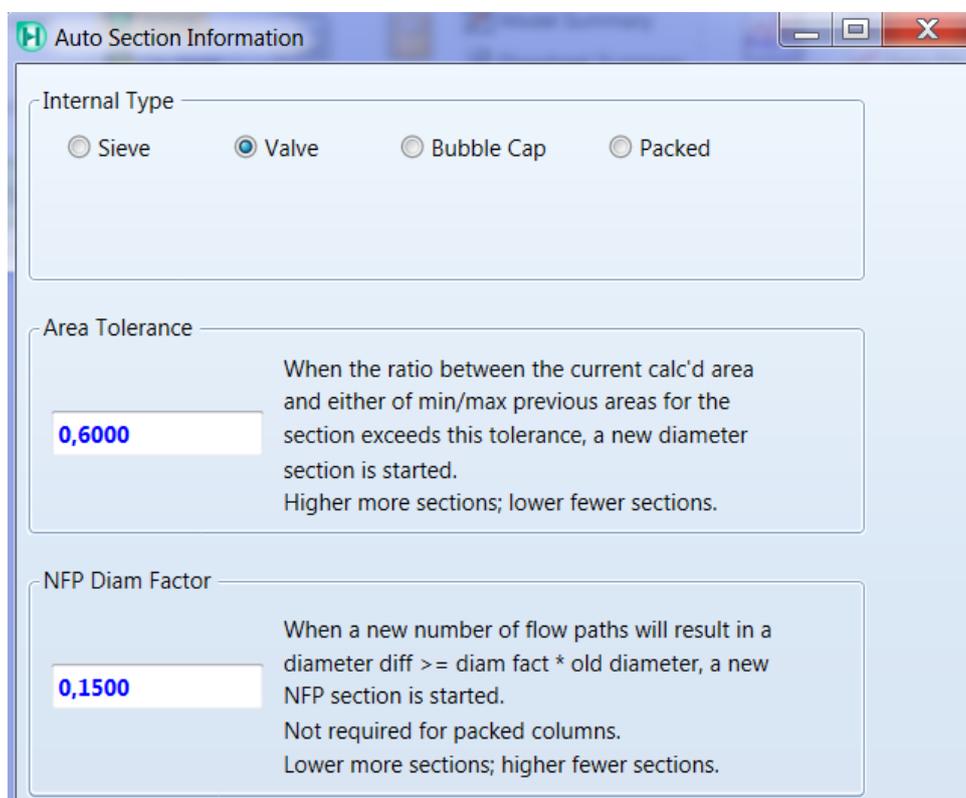


Figure III 16. Choix du type de l'interne de la colonne de distillation.

Tolérance de zone : Lorsque le rapport entre l'aire calculée actuelle et les autres aires précédentes de la section dépasse cette tolérance une nouvelle section est lancée.

Facteur de diamètre NFP (Number of Flow Paths) : Lorsqu'un nouveau nombre de voies d'écoulement entraîne une différence de diamètre supérieure ou égale au facteur de diamètre multiplié par l'ancien diamètre, une nouvelle section NFP est démarrée.

Dans cet utilitaire, de nombreux paramètres peuvent être spécifiés, mais nous accepterons les valeurs par défaut et on active l'auto section qui va permettre à « Aspen Hysys » de faire ses calculs (Figure III.17).

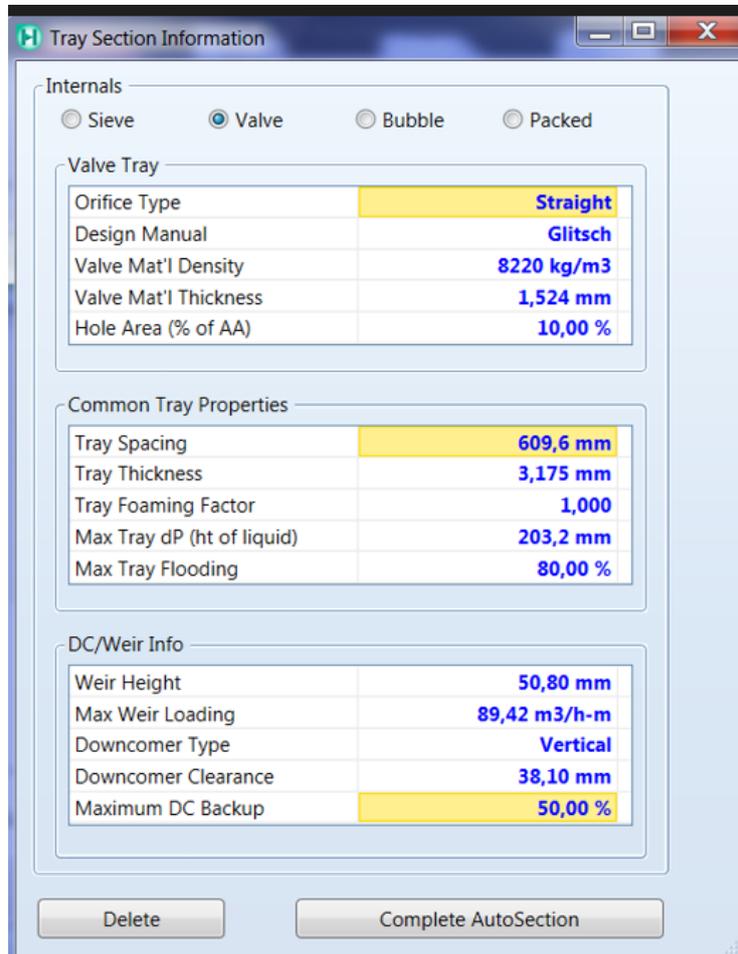


Figure III.17. Paramètres du dimensionnement de la colonne de distillation.

« Aspen Hysys » a décidé de faire la conception de la colonne en une seule section. Plus de détail sont donnés dans la section « Result » de l'onglet « Performance » (Figures III.18) où on trouve des paramètres concernant les clapets (type, épaisseur...), les déversoirs (hauteur, type, charge maximale...) et la géométrie de la colonne (l'espace, l'épaisseur et le facteur de moussa ge des plateaux).

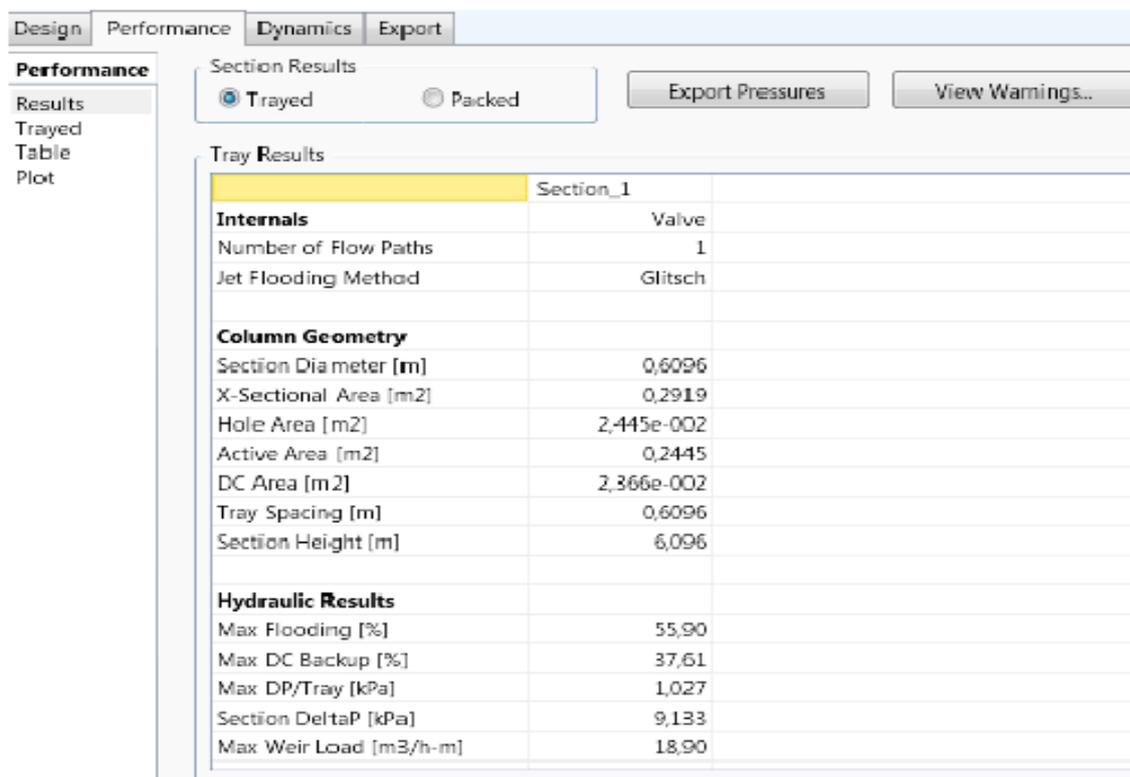


Figure III.18. L'auto dimensionnement calculé par « Aspen Hysys »

III.5. Etude des profils des paramètres de fonctionnement de la colonne de distillation en fonction du nombre de plateaux

III.5.1. Profil de température

D'après la figure III.19 qui représente la variation de la température en fonction du nombre de plateaux de la colonne de distillation on remarque une augmentation légère de la température d'un plateau à un autre le long de la colonne, à l'exception qu'au niveau du cinquième plateau on remarque une légère diminution due à la présence de l'alimentation qui a une température inférieure à celle du plateau correspondant (40°C). Mais à partir du septième plateau (145.6°C) l'écart devient plus important (162.7°C au 10^{ième} plateau) et cela est dû au rapprochement de la zone du rebouilleur où on trouve l'eau qui a une température d'ébullition plus importante que celle du méthanol.

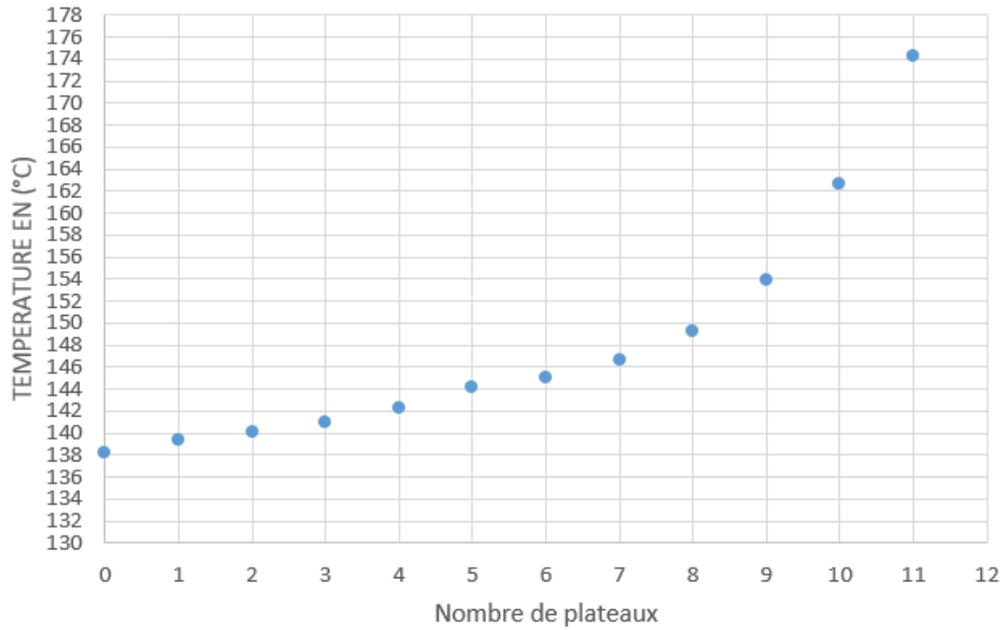


Figure III 19. Profil de température en fonction du nombre de plateaux.

III.5.2. Profil de pression

D'après la figure III.20 on remarque une augmentation proportionnelle de la pression par rapport au nombre de plateaux de la colonne de distillation, cela est dû au changement de composition d'un plateau à un autre, sauf qu'au niveau du condenseur et le rebouilleur la pression reste constante puisque ces derniers travaillent à la même pression que leurs plateaux correspondants (1^{er} et 10^{ème}).

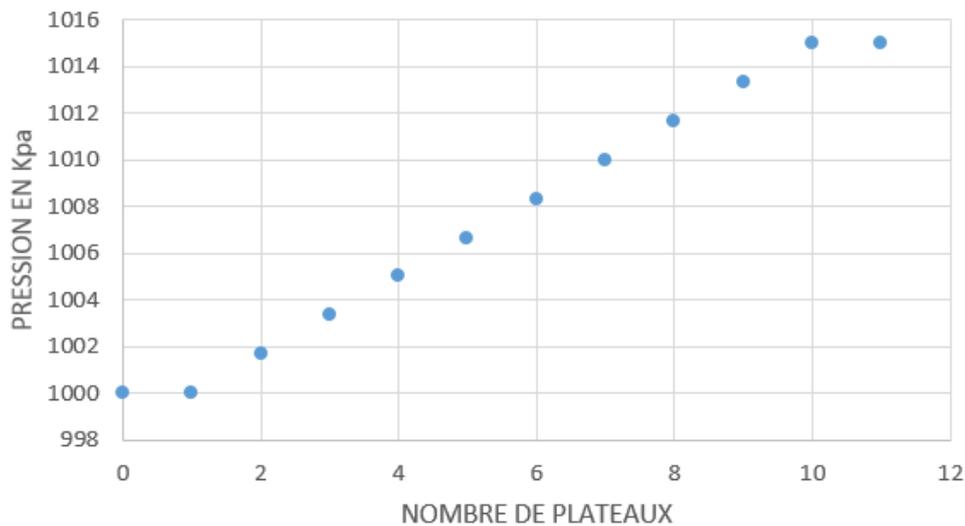


Figure III 20. Profil de pression en fonction du nombre de plateaux.

III.5.3. Profil de composition

Le graphe ci-après (figure III.21) représente la variation de la composition molaire du méthanol et de l'eau en fonction du nombre de plateaux, où on remarque que la variation de la composition des deux composées dans la partie inférieure de la colonne (Du 11ièmè plateau qui est le rebouilleur et le 5ièmè plateau qui est le plateau d'alimentation) est plus importante que celle de la partie supérieure, d'où ce profil de composition permet de confirmer le rôle que joue le rebouilleur dans l'élimination du méthanol dans le produit de fond.

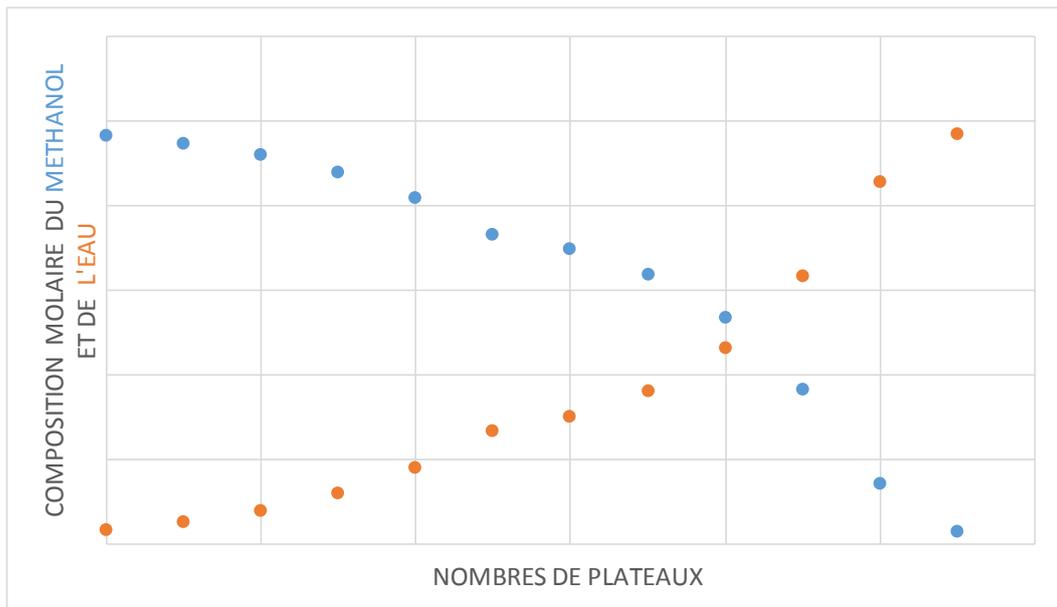


Figure III.21. Profil de compositions molaires du méthanol et de l'eau en fonction du nombre de plateau

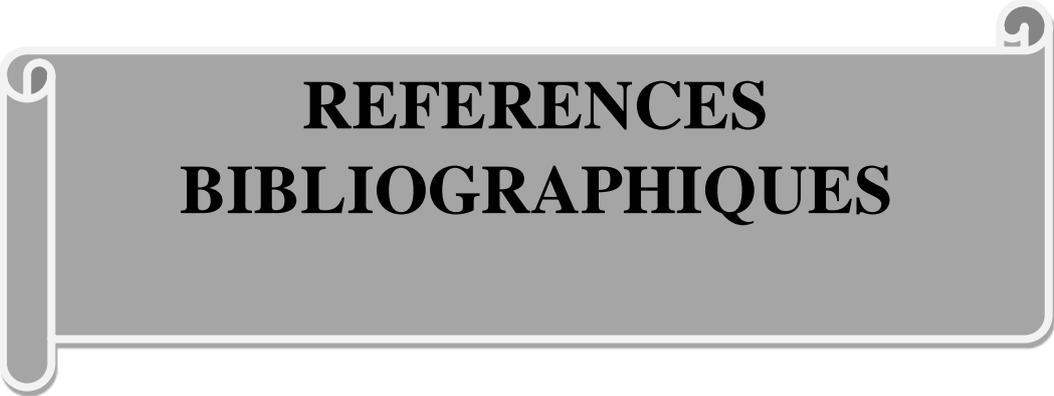


CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

A travers cette étude, nous avons montré à l'aide de la simulation de synthèse de méthanol le fonctionnement du logiciel « *Aspen Hysys* » qui est un simulateur reconnu mondialement et très utilisé dans l'industrie. Ce choix a nécessité le besoin de s'investir sur la prise en main, la connaissance des paramètres nécessaires pour la simulation de différentes opérations unitaires, la maîtrise et l'exploitation de ses outils aussi intéressant qu'« *Aspen Hysys* » a permis de démontrer la faisabilité de redimensionner les appareils qui est une opération développée alliée à l'utilisation des simulateurs de procédé ainsi que d'étudier et d'interpréter différents profils des paramètres de fonctionnement.

Enfin nous recommandons de faire une étude dynamique et économique de notre procédé et d'exploiter d'autres outils que nous offre « *Aspen Hysys* » et cela pour mettre en évidence la précision et la rentabilité de ce logiciel de simulation.



**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] <http://www.methanex.com> , 2003
- [2] Wikipedia.
- [3] Disponible sur site web [http:// www.ttmethanol.com/methprocess.html](http://www.ttmethanol.com/methprocess.html)
- [4] Kirk-othmer. “*Encyclopedia of chemical technology*”. Édité par John Wiley and Sons. New York: 3th ed.Vol.15, 1981.
- [5] “Methanol”.International chemical safety cards. 2000.
- [6] Marsden C-*Solvents guide*-Édité par 2 é ed. Londres: Cleaver Hume Press, 1963.
- [7] “Occupational health guideline for methyl alcohol”. Cincinnati: NIOSH/OSHA, 1978.
- [8] Weiss G. “*Hazardous chemicals data book*”. Édité par Noyes Data corp. Park Ridge: 2é ed, 1986.
- [9] 3th, éd. “*Encyclopedia of occupational health and safety*”. Vol 2. Genève: BIT, 1983.
- [10] Methanol. “*Information sheet on hazardous materials*” H42. Vol. 111. Fire prevention, 1975.
- [11] Grignard V. “*Traité de chimie organique* ». Paris, Masson, 1937.
- [12] Clayton GD, Clayton FE. “*Patty's industrial hygiene and toxicology*”. 3. Vol. II. New york: John Wiley and sons, 1983.[4528-4541]
- [13] Eckhard Fielder, Georg Gossmann, Burkhard Kersebohm,Gunther Weiss,Claus Witte,BASF Akeingesellschaft,Ludwigshafen. “*Toxicity and metabolism of industrial solvents*” République fédérale d'Allemagne :. Vol. Vol.A16. 1990, s.d
- [14] Sax NI-“*Environmental and Technical information for problem Spills*”. janvier 1985.
- [15] H.Kung, Wu-Hsun Cheng,Harold. “*Methanol production use*”. 1994.
- [16]] *methanex*. 17 06 2003.
- [17] *Le méthanol : « Renseignements techniques et consignes de sécurité, Methanex corporation », version 3,septembre 2006, waterloo,Belgique.*
- [18] “*Registry of toxic effects of chemical substances*”. Vol. 3A. Cincinnati, 1985-1986.
- [19] Aspen Hysys User Guide. AspenTech 2004.2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[20] Aspen Hysys Tutorials and Applications. AspenTech 2004.2.

[21] Hysys Design tutorial for CHEE470. Queen's University Department of Chemical Engineering.2



