

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : **Energétique**

Présenté par :

MOUALEK Akram - MESSEGUEM Anwar

Thème

**Application du logiciel HYSYS aux procédés
industriels
"production d'électricité"**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
	Professeur	Président
IHADDEDENE Nabila	Professeur	Encadreur
	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2022 / 2023

Remerciements

On vous remercie, Madame Pr.Ihaddadene Nabila d'avoir accepté de diriger notre travail de fin d'étude. On lui témoigne toute notre reconnaissance, entres autres, pour son appui efficaces dont l'ensemble des démarches administratives.

On ne peut oublier de remercier tous les enseignants d'avoir contribuer à notre formation, ainsi a tout l'équipe de formation du département de génie mécanique.

En fin, on remercier tous les amis qui nous ont aidé pour l'élaboration de notre travail.



Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont

Soutenu de près et de loin,

A ma mère, et mon père,

Ames frères et sœurs

Et tout ma famille

A mes proches

A tous mes

Amis



Anwar



Dédicace

*Je dédie ce mémoire
A la mémoire de ma défunte mère*

Grande mère

Et mon ami Ben Boudina Ali

*A mon père, qui peut se vanter à trouver ici à la suite
de nombreuses années de sacrifices et de difficultés
pour m'aider à aller de l'avant dans la vie, Merci mon
Père.*

*A mes chers frères et sœurs a ma et a toute ma famille
pour son aide.*

En fin a tous mes amis et toute la promotion de 2023.

Akram

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
SPE	Station de production électricité	
SP3	Station de pompage numéro 3	
Ps	Pression de sortie	(bar, kpa, psia)
Pe	Pression d'entrée	(bar, kpa, psia)
RK	Equation de REDLICH-K WONG.	/
SRK	Equation de SOAVE-REDLICH-KWONG.	/
PR	Peng-Robinson PR.	/
PFD	Process flow diagram.	/
in	entrée	/
out	sortie	/
W	travail	KJ/kg
S	Entropie	J/kg*°C
liq	Liquide	/
η	Rendement	/
F	masse d'air/ masse du fuel	/
PCS	prévoir calorifique spécifique	cal
\dot{Q}_m	puissance thermique	MW
\dot{m}_f	Débit de fuel	Kg/s
\dot{W}	Puissance	MW
\dot{W}_p	Puissance de pompe	MW
\dot{W}_{Tvp}	Puissance nette de la turbine à vapeur	MW
\dot{W}_{Tgaz}	Puissance nette de la turbine à gaz	MW
$\dot{W}_{compresseur}$	Puissance de compresseur	MW
$\dot{W}_{turbine}$	Puissance de turbine	MW

Listes des figures

Figure I.1: Situation de la Wilaya de M'sila.	3
Figure I.2: Situation de la commune de M'sila.	4
Figure I.3: Structure de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE).	6
Figure I.4: Centrale turbines à Gaz V94.3A de (M'sila III).	7
Figure I.5: Schéma descriptif d'une turbine à gaz.	8
Figure I.6: Schéma fonctionnement de la turbine à gaz V94.3A de « Msila III ».	8
Figure I.7: Compresseur.	9
Figure I.8: Chambre des combustions et brûleur.	10
Figure I.9: Turbine.	11
Figure I.10: Alternateur.	11
Figure I.11: Cycle de Joule (Baryton).	12
Figure I.12: Cycle réel de la turbine à gaz M'sila III.	13
Figure II.1: Structure générale du HYSYS.	18
Figure II.2: La touche pour créer une nouvelle feuille de simulation en HYSYS V9.	20
Figure II.3: La touche pour insérer le modèle thermodynamique en HYSYS V9.	21
Figure II.4: La touche pour insérer les constituants en HYSYS V9.	22
Figure II.5: La touche pour accéder au PFD en HYSYS V9.	22
Figure II.6: Rubrique représentative de sélection des composés de la bibliothèque de HYSYS V9.	23
Figure II.7: Rubriques représentatives de création de nouveaux composés chimique en HYSYS V9.	24
Figure II.8: Rubrique représentative de spécification de courant de matière en HYSYS V9.	26
Figure II.9: Rubrique représentative de spécification de courant de matière convergé en HYSYS V9.	26
Figure II.10: Rubrique représentative de spécification de courant d'énergie en HYSYS V9.	27
Figure II.11: Schéma d'un mixeur	27
Figure II.12: Mixeur sous HYSYS.	28
Figure II.13: Schéma de TEE.	29
Figure II.14: TEE sous HYSYS.	29
Figure II.15: Schéma d'une vanne.	30
Figure II.16: Vanne sous HYSYS.	30
Figure II.17: Schéma de conduit.	31

Figure II.18: Conduit sous HYSYS.	32
Figure II.19: Pompe sous HYSYS.	33
Figure II.20: Schéma d'un compresseur.	34
Figure II.21: Compresseur sous HYSYS.	34
Figure II.22: Schéma d'une turbine.	35
Figure II.23: Turbine sous HYSYS.	35
Figure II.24: Heater / Cooler sous HYSYS.	36
Figure II.25: Schéma d'un échangeur tube/calandre.	37
Figure II.26: Echangeur tube/calandre sous HYSYS.	37
Figure II.27: Convection reacture sous HYSYS.	38
Figure III.1: Schéma de fonctionnement de la turbine à gaz M'Sila III sur HYSYS (PFD).	40
Figure III.2: Catégories principales de compresseurs.	41
Figure III.3: Compresseur axial.	41
Figure III.4: Schéma du compresseur axial sous HYSYS.	42
Figure III.5: Paramètres d'entrée-sortie du compresseur au mois de janvier et août.	43
Figure III.6: Effet de la température de l'air à l'entrée du compresseur sur sa puissance.	43
Figure III.7: Effet de la température de l'air à l'entrée du compresseur sur sa température à la sortie.	44
Figure III.8: Effet Débit massique d'air admis sur la puissance du compresseur.	45
Figure III.9: Effet de rendement du compresseur sur sa puissance.	45
Figure III.10: Diagramme T-S du compresseur axial.	46
Figure III.11: Chambre de combustion sous HYSYS.	46
Figure III.12: Paramètres d'entrée-sortie de la chambre de combustion au mois de janvier.	47
Figure III.13: Effet du rendement de la combustion sur la température de produit de combustion.	48
Figure III.14: Effet du débit massique d'air sur les émissions CO ₂ pour différents débits de fuel.	49
Figure III.15: Effet du débit massique d'air sur la température des produits de combustion pour différents débits de fuel.	50
Figure III.16: Effet du débit massique du fuel sur la température des produits de combustion et l'émission en CO ₂ en présence d'un manque d'air.	50
Figure III.17: Effet du rapport F sur la température des produits de combustion.	51
Figure III.18: Effet de rapport F sur les émissions CO ₂ .	52
Figure III.19: Effet de la température de l'air et du fuel sur la température des	52

produits de combustion.	
Figure III.20: Schéma de la turbine sous HYSYS.	53
Figure III.21: Paramètres d'entrée-sortie de la turbine au mois de janvier et août	54
Figure III.22: Effet de la température d'entrée des gaz de combustion sur la puissance produite par la turbine.	55
Figure III.23: Effet de la température d'entrée des gaz de combustion sur leur température à la sortie de la turbine.	55
Figure III.24: Effet du rendement de la turbine sur sa puissance.	56
Figure III.25: Diagramme T-S du la turbine.	56
Figure III.26: Effet de débit et de la température de l'air sur la puissance nette de la turbine à gaz.	57
Figure III.27: Effet du débit d'air sur les émissions CO ₂	58
Figure III.28: Effet du débit d'air sur la température des gaz d'échappement.	59
Figure III.29: Effet du débit du fuel sur la puissance nette de la turbine à gaz.	59
Figure III.30: Effet du débit du fuel sur les émissions CO ₂ pour différents débits et températures d'air.	60
Figure III.31: Effet de débit du fuel sur la température des gaz d'échappement pour différents débits et températures d'air.	61
Figure III.32: Effet de la température du fuel sur la puissance de la turbine à gaz.	62
Figure III.33: Effet de la température du fuel sur les émissions CO ₂ .	62
Figure III.34: Effet de la température du fuel sur la température des gaz d'échappement pour différents débits d'air et du fuel et différentes températures d'air.	63
Figure III.35: Cycle de Baryton pour la turbine à gaz Msila III.	64
Figure III.36: Amélioration de la turbine à gaz actuelle	65

Listes des tableaux

Tableau III.1: Composition molaire de fuel utilisé par M'sila III.	47
Tableau III.2: Exemple de calcul de l'effet du taux de conversion sur la température.	48
Tableau III.3: Paramètres influençant le fonctionnement du compresseur axial.	67
Tableau III.4: Paramètres influençant le fonctionnement de la chambre de combustion	67
Tableau III.5: Paramètres influençant le fonctionnement de la turbine.	67
Tableau III.6: Paramètres influençant le fonctionnement de la turbine.	67

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I: L'industrie à M'sila	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Informations générales sur la wilaya de M'sila	3
I.2.1 Wilaya de M'sila [1]	3
I.2.2 Population [3].....	3
I.2.3 Caractéristiques géographiques [4]	3
I.2.4 Secteur agricole [5]	4
I.2.5 Secteur Industriel [6].....	4
I.2.6 L'industrie au niveau de la commune de M'sila	4
I.3. Description de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE)[8]	5
I.3.1 Structure de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE).....	5
I.3.2 Présentation du groupe M'sila III.....	6
I.3.2.1 Principe de fonctionnement [9]	6
I.3.2.2 Caractéristiques générales de la turbine à gaz V94.3A (M'sila III).....	7
I.3.2.3. Eléments composant la turbine à gaz	9
Conclusion.....	13
Chapitre II: Simulateur HYSYS.....	14
II.1. Introduction	15
II.2. Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs.....	15
II.3. Type de simulation [13]	16
II.3.1. La simulation statique (steady state).....	16
II.3.2. La simulation dynamique (transient state)	16
II.4. Utilisation de la simulation	16
II.5. Définition du logiciel Aspen HYSYS	16
II.6. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS.....	17
II.6.1. Concepts de base du simulateur HYSYS	17
II.6.2. Environnement de simulation	17
II.6.3. Les caractéristiques principales de HYSYS	18
II.7. Structure générale du HYSYS	18
II.8. Les modèles thermodynamique de HYSYS	18
II.9. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS.....	20
II.10. Démarrage de HYSYS [17]	20

II.10.1. Créer une nouvelle feuille de simulation	20
II.10.2. Choisir le modèle thermodynamique	21
II.10.3. Choisir les composés chimiques	21
II.10.4. Accéder à l'environnement de simulation	22
II.10.5. Construction du PFD (PFD (les Procédé, les courants, les diagrammes).....	23
II.11. Création d'une feuille de simulation [17].....	23
II.11.1. Sélection et création de nouveaux composés.....	23
II.11.2. Bibliothèque thermodynamique des logiciels Orienté module (OM).....	24
II.11.3. Installation et spécification des courants de matière et d'énergie	25
II.11.4. Définir les modules (les équipements) d'opérations unitaires d'un procédé [18]	27
II.12. Conclusion.....	38
Chapitre III: Application du logiciel HYSYS à la SPE	39
III. 1 Introduction	40
III.2. Simulation de la turbine à gaz de M'Sila.....	40
III.2.1. Compresseur axial	40
III.2.2. Simulation de la Chambre de combustion	46
III.2.3. Simulation de la turbine.....	53
III.3 Effet des paramètres d'entrée sur le fonctionnement de la turbine à gaz.....	57
III.3.1 Effet du débit d'air sur la puissance nette de la turbine à gaz.	57
III.3.2 Effet du débit d'air à l'entrée sur les émissions CO ₂	57
III.3.3 Effet du débit d'air sur la température des gaz d'échappement	58
III.3.4 Effet du débit du fuel sur la puissance nette de la turbine à gaz.....	58
III.3.5 Effet du débit du fuel sur les émissions CO ₂	60
III.3.6 Effet de débit du fuel sur la température des gaz d'échappement.....	60
III.3.7 Effet de la température du fuel sur la puissance nette de la turbine à gaz.....	61
III.3.8 Effet de la température du fuel sur les émissions CO ₂	61
III.3.9 Effet de la température du fuel sur la température des gaz d'échappement	63
III.4. Etude thermodynamique de l'installation actuelle.....	63
III.5 Amélioration de la turbine à gaz actuelle sous HYSYS	65
III.6 Conclusion	66
Conclusion générale:	70
Bibliographie.....	73

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie est considérée comme le principal facteur d'une économie générale depuis la création et le développement des villes, où elle s'est concentrée dans des endroits spécifiques et nombreux. La wilaya de M'sila est considérée comme un pôle économique sur le plan industriel. Elle est située en Algérie, dans la région du même nom. Elle est connue pour abriter plusieurs industries qui contribuent au développement économique de la région. La Daira de M'sila dispose de deux zones industrielles (Route de Bou Saada) et (Draâ El Hadja), d'une superficie totale de 241,08 ha. La station de pompage SP3 de M'sila, la Laiterie HODNA, la centrale thermique de production d'énergie électrique de M'sila (SPE) et l'atelier central de maintenance SONEALGAZ (MEI) sont des exemples des industries se trouvant dans la Daira de M'sila.

Les procédés industriels font référence aux méthodes et aux techniques utilisées dans la production de biens et de services à grande échelle. Ils jouent un rôle crucial dans de nombreux secteurs tels que la fabrication, l'ingénierie, la chimie, l'agroalimentaire, l'énergie et bien d'autres encore. Ces procédés permettent de transformer les matières premières en produits finis, en utilisant des équipements spécialisés, des machines, des technologies avancées et des méthodes spécifiques.

HYSYS est un logiciel de simulation de procédés industriels largement utilisé dans l'industrie chimique et pétrochimique. Développé par la société Aspen Technology, HYSYS offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation, l'optimisation et la gestion des procédés. Ce logiciel permet aux ingénieurs de concevoir, d'analyser et de simuler des procédés complexes, tels que les raffineries, les usines chimiques, les unités de production d'énergie, et bien d'autres encore. Il prend en compte les propriétés thermodynamiques des composants, les équilibres de phase, les réactions chimiques, les transferts de chaleur et de masse, et d'autres paramètres essentiels pour une simulation précise.

C'est dans ce contexte, que nous allons mener notre étude, intitulée l'application du logiciel HYSYS aux procédés industriels se trouvant dans la wilaya de M'sila. En effet, faute du temps, on a appliqué ce simulateur au seul procédé qui consiste en la production d'électricité.

La centrale thermique de M'sila de 63 hectares de superficie, est située à 7 Km à l'ouest de M'Sila ville (Draa El Hadja). Elle est composée essentiellement de plusieurs turbines à gaz de différentes marques. Cette étude a été menée sur la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A à travers un mémoire de trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à présentation de la wilaya de M'sila, où on a cerné toutes ses caractéristiques.

Dans le deuxième chapitre, on a présenté le logiciel HYSYS, simulateur utilisé dans cette étude.

Dans le troisième chapitre, on appliqué le logiciel HYSYS à la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A pour étudier ses paramètres de fonctionnement.

En fin, ce mémoire est clos par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

Chapitre I:

L'industrie à M'sila

I.1 Introduction

L'Algérie est un vaste pays, divisé en plusieurs wilayas. M'sila est la 28^{ème} selon la division administrative de 1974. Chaque wilaya de l'Algérie possède ses propres caractéristiques. A travers ce chapitre, on va présenter tous les potentiels dont dispose la wilaya de M'sila.

I.2 Informations générales sur la wilaya de M'sila

I.2.1 Wilaya de M'sila [1]

La wilaya de M'sila qui occupe 18.718 km², a été créée suite à la division administrative du 20/07/1974. Auparavant elle était affiliée à wilaya de Sétif. La Wilaya de M'sila comprend actuellement 47 communes regroupées en 15 Daïras et. Elle est située au nord du pays (Figure I.1) à 250 km au sud d'Alger et délimitée:

- Au nord-est, par les wilayas de Bordj Bou-Arredj et Sétif.
- Au nord-ouest, par les wilayas de Médéa et Bouira.
- A l'est, par la wilaya de Batna.
- Al'ouest, par la wilaya de Djelfa.
- Au sud-est, par la wilaya de Biskra.

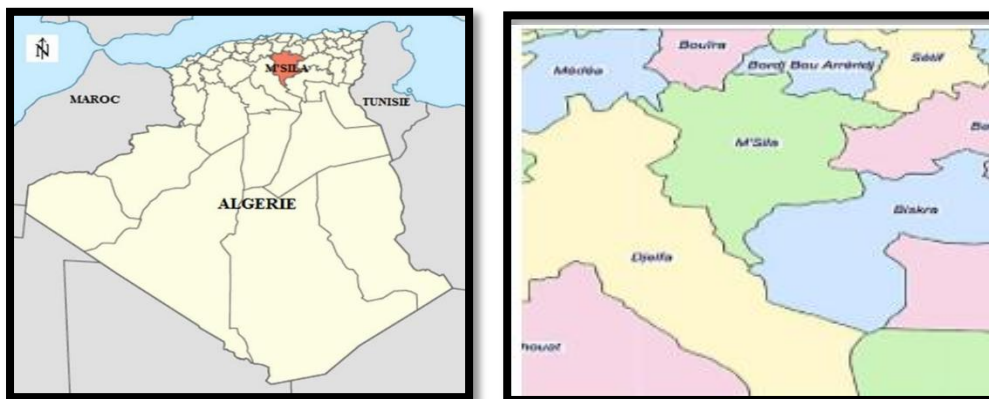


Figure I.1 Situation de la Wilaya de M'sila [2]

I.2.2 Population [3]

La population totale de la wilaya est évaluée à **1 387158** habitant au 31/12/2021. La densité de la population qui varie d'une commune à l'autre est estimée à 76 habitants au km². A titre d'exemple, cette densité à la commune de M'sila est de **1098** habitants au km².

I.2.3 Caractéristiques géographiques [4]

Le territoire de la wilaya est considéré comme une zone charnière et de transition entre les deux massifs montagneux, l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Il se caractérise par quatre zones naturelles à savoir:

- Zone de steppe: elle couvre la plus grande partie du territoire, soit 55%, et se caractérise par un couvert végétal clairsemé, traduisant le degré de dégradation des parcours ;

- Zone de la plaine El-Hodna: elle représente 33% du territoire de la wilaya. Elle est réservée essentiellement à la céréaliculture, aux cultures maraîchère et aux arboricultures.
- Zone de montagne: elle représente 07% du territoire et est réservé à une agriculture de montagne de type extensif avec quelques massifs forestiers.
- Zone de dunes de sable: elle s'étend sur une superficie de 01% de la superficie de la wilaya.

I.2.4 Secteur agricole [5]

La région d'El-Maader (Bou Saada), la municipalité de Maarif et la commune du M'ssif situées à 60 km, à 45 km et à environ 97 km du siège de la wilaya respectivement, constituent les plus grandes zones agricoles de M'sila. Parmi les cultures les plus importantes de cette wilaya, figurent les carottes, les navets, les pommes de terre, la laitue, le chou-fleur, les abricots, les grenades, les raisins, les pêches et les pommes comme une nouvelle expérience, Le blé et l'orge sont parmi les cultures agricoles les plus importantes de M'sila. Il est à noter que la superficie agricole utile de la wilaya est de l'ordre de 277592 ha, soit 15.27%

I.2.5 Secteur Industriel [6]

La wilaya de M'sila dispose d'un tissu industriel diversifié tel que l'agroalimentaire, la plasturgie et les matériaux de construction. Dans le cadre du plan quinquennal 2010-2014, le secteur industriel de la wilaya de M'sila a bénéficié d'une enveloppe financière estimée à 29 milliards de dinars. Cette enveloppe a permis la réalisation de plusieurs projets. De plus, il y a environ 152 unités industrielles structurées au niveau de M'sila, qui emploient 8 734 employés.

I.2.6 L'industrie au niveau de la commune de M'sila

La commune de M'sila est située sur le versant nord-ouest du bassin du Chott El Hodna, elle est bordée de montagnes d'El Hodna au nordet du Chott El Hodna au sud (Figure I.2). M'sila est le point d'intersection des routes nationales n°40, 45 et 60.Sa superficie est estimée à 252 km², occupée par environ 1098 habitants au km² [2].

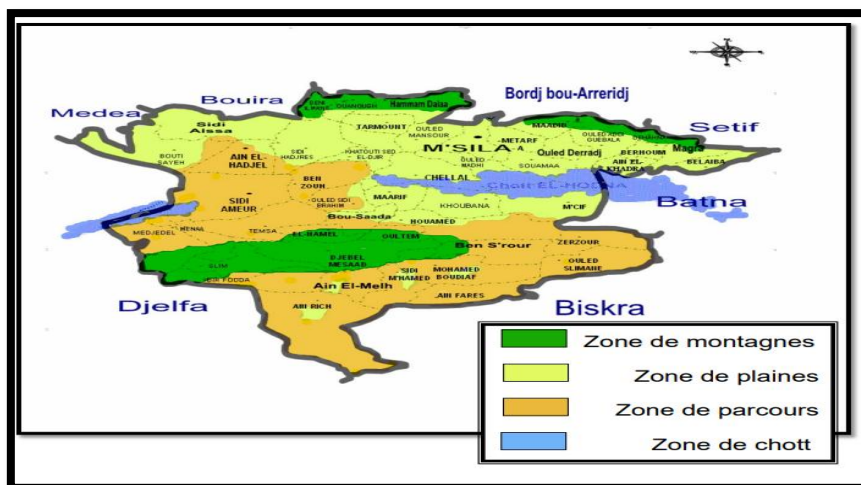


Figure I.2 Situation de la commune de M'sila [7]

La ville de M'sila dispose de deux zones industrielles (Route de Bou Saada) et (Draâ El Hadja), d'une superficie totale de 241,08 ha.

La zone industrielle route de Bou Saada a été créée par le décret ministériel n° 1685 du 15 octobre 1975 du ministère des travaux publics et de la construction, en vue de concentrer l'industrie à M'sila dans une seule zone. Cette zone composée de terrains appartenant à l'état et de propriétés privés, s'étale sur une surface de 164.83 hectares (79 parcelles), occupée actuellement à 100 %.

La zone industrielle de route de Bou Saada comporte les unités suivantes :

- La station de pompage SP3 de M'sila.
- La Laiterie HODNA.
- L'unité extrusion – Anodisation-Refonte de l'Aluminium (ALGAL PLUS).
- Les centres enfûtés de gaz, propriété de NAFTAL.
- Le complexe de toiles industrielles de M'sila (TENDAL).

La zone industrielle Draa El Hadja s'étale sur une superficie de 77.75 hectares, divisée initialement en (52 parcelles) répartie entre 47 projets d'investissement en cours d'achèvement.

La zone industrielle Draa El Hadja comporte les unités suivantes :

- La centrale thermique de production d'énergie électrique de M'sila (SPE).
- L'atelier central de maintenance SONEALGAZ (MEI).
- L'unité de maintenance et de logistique exploitée par COSIDER.

Dans ce qui suit on va présenter la centrale de production d'électricité située à Draa El Hadja SPE (sujet de notre mémoire).

I.3. Description de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE)[8]

La centrale de M'sila est située à 7 Km à l'ouest de M'Sila ville (Draa El Hadja). Sa superficie est de 63 hectares. La centrale est composée de 2 groupes de turbines à gaz THOMASSEN de puissance nominale de 23 MW chacune (M'sila I), de 03 groupes ALSTHOM de puissance nominale de 110 MW chacun (M'sila II) et de 02 groupes de puissance 215 MW chacun (M'sila III), oralisant en moyenne une puissance de 815 MW.

La centrale est divisée en trois groupements :

- Un groupement de 02 turboalternateurs de type 5001P appelé M'sila I, ces groupements peuvent fonctionner soit au gaz soit au fuel,
- Un groupement de 03 turboalternateurs de type 9001E appelé M'sila II, fonctionnant seulement au gaz.
- Deux Turbines à gaz « ANSALDO – (de marque Italienne) model V94.3A.4 » et leurs Auxiliaires.

I.3.1 Structure de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE)

La centrale de production d'électricité de M'sila (SPE) est structurée selon l'organigramme suivant (Figure I.3) :

Dans cette étude on s'intéresse au groupe M'sila III.

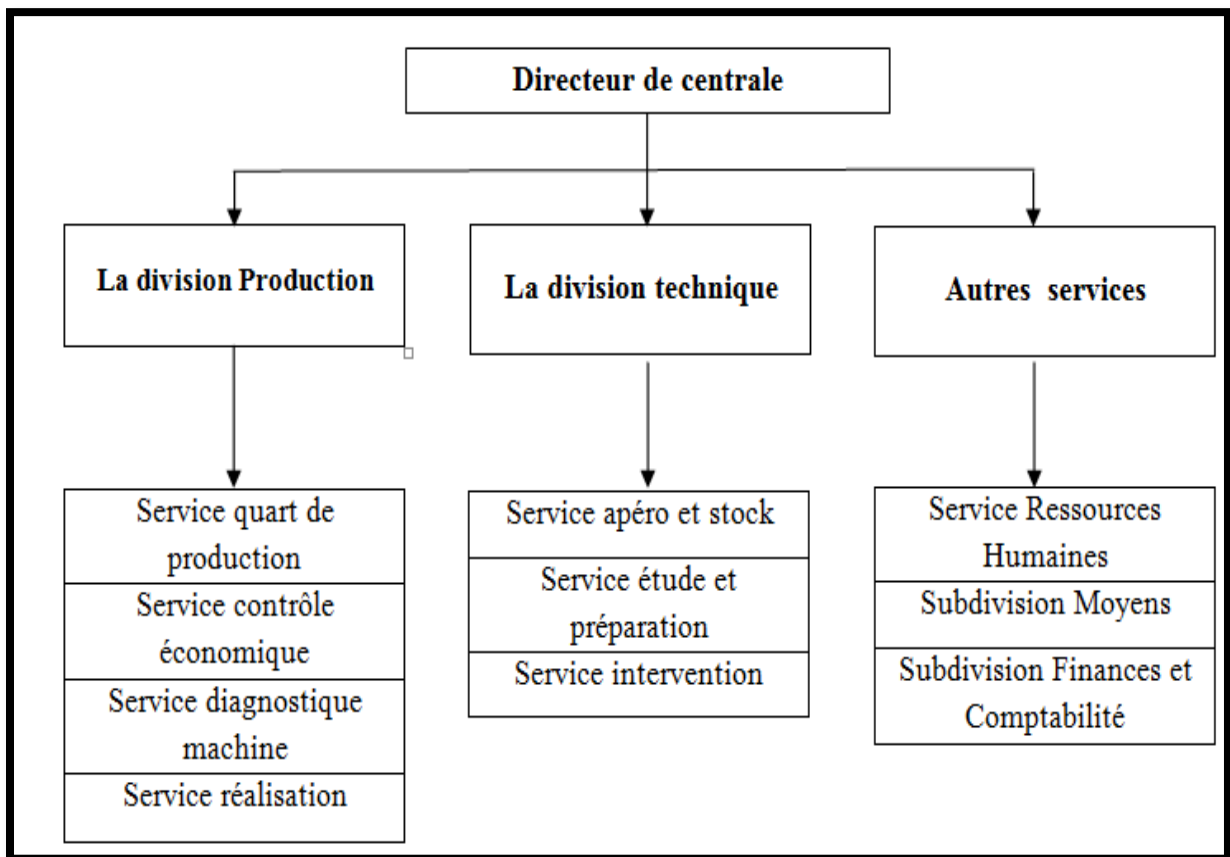


Figure I.3. Structure de la centrale de production d'électricité de M'sila (SPE).

I.3.2 Présentation du groupe M'sila III

M'sila III d'une puissance de 430 MW aux bornes de l'usine (2x215) MW est constitué de deux groupes de turbines à gaz de type ANSALDO V94.3A qui fonctionnent en utilisant comme combustible principal le gaz naturel et comme combustible de secours le gasoil.

Les groupes sont installés dans des enceintes appelées « package », chacun installé dans une salle de machines avec possibilité d'exploitation à partir d'une salle de commande centralisée.

Chaque turbine à gaz devra être en mesure de démarrer rapidement à partir de l'état froid. Elle devra être capable d'absorber des gradients de températures transitoires après un déclenchement rapide et à redémarrer immédiatement.

La Figure I.4 représente le groupe de turbines à Gaz V94.3A de (M'sila III).

I.3.2.1 Principe de fonctionnement [9]

La turbine à gaz est un engin tournant qui consiste de façon type d'un compresseur, de plusieurs chambres de combustion où un combustible gazeux ou liquide est brûlé et d'une turbine pour faire marcher le compresseur et produire du travail (Figure I.5). Elle est accouplée à un générateur électrique ou à d'autres machines industrielles.



Figure I.4 Groupe de turbines à Gaz V94.3A de (M'sila III)

De l'air est aspiré et comprimé par le compresseur puis refoulé à hautes température et pression vers la chambre de combustion où il sert de comburant pour brûler le fuel admis. La turbine qui se situe juste après la chambre de combustion, convertit l'énergie des gaz brûlés en travail mécanique (plus précisément, en rotation de son arbre) et les rejettent dans l'atmosphère par un conduit d'échappement.

La turbine à gaz est essentiellement constituée de trois composants principaux à savoir :

- **Un compresseur**, centrifuge ou plus généralement axial, ayant pour rôle de comprimer l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 17 bars environ,
- **Une chambre de combustion**, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, brûle en présence d'excès d'air comprimé, afin de limiter la température des gaz d'échappement.
- **Une turbine**, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

I.3.2.2 Caractéristiques générales de la turbine à gaz V94.3A (M'sila III)

La turbine à gaz de type V94.3A de ANSALDO est une turbine de type Industriel à un seul arbre et un seul corps d'une puissance nominale d'environ 215 MW (Figure I.6).

Les caractéristiques constructives du modèle V94.3A sont :

- Puissance nominale.....215 MW
- Fréquence.....50 Hz

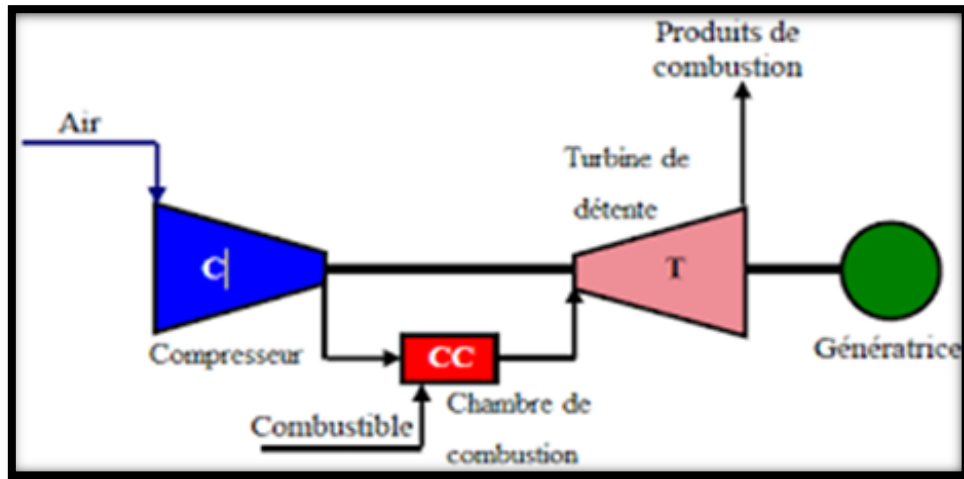
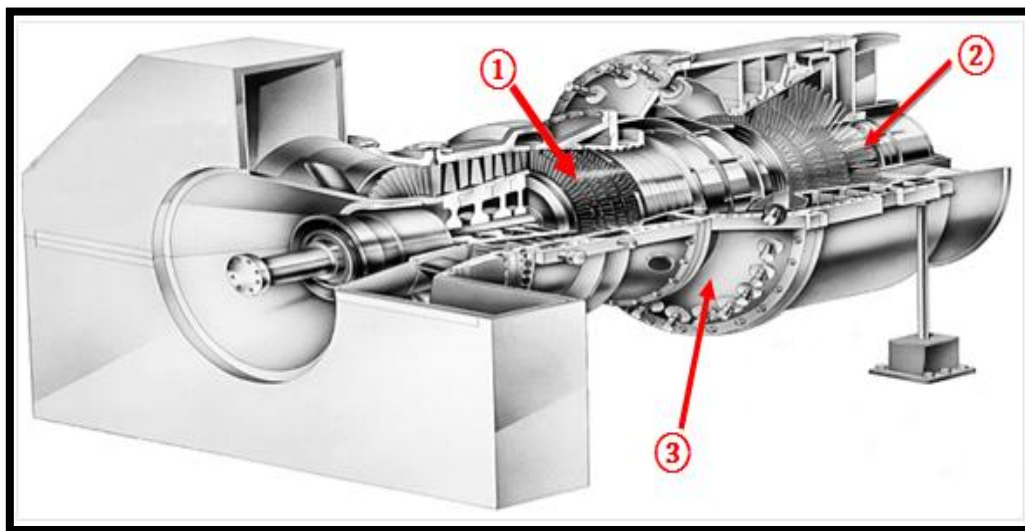


Figure I.5 Schéma descriptif d'une turbine à gaz [9].



1-Compresseur, 2-Turbine, 3- Chambre de combustion

Figure I.6 Schéma de la turbine à gaz V94.3A du groupe M'sila III [8].

Compresseur axial:

- Nombre d'étages.....15

Turbine :

- Nombre d'étages.....4
- Débit des gaz d'échappement630 kg/s
- Température des gaz d'échappement.....570°C

Chambre de combustion :

- Nombre de chambres de combustion.....1
- Type.....Chambre annulaire
- Nombre de brûleurs.....24
- Nombre de dispositifs d'allumage par brûleur.....1

I.3.2.3. Eléments composant la turbine à gaz

On peut diviser la centrale turbine à gaz en deux parties principales:

A. Partie mécanique

Cette partie est formée essentiellement de:

a) Compresseur [9]

Le compresseur illustré sur la Figure I.7 de la turbine à gaz V94.3A est un compresseur de type axial, il aspire l'air à la pression atmosphérique et le refoule à une pression dépendant de son taux de compression, « P_s/ P_e » (avec P_s : pression de sortie, P_e : pression d'entrée, qui n'est autre que la pression atmosphérique). Il comporte 15 étages permettant ainsi de refouler l'air à une pression entre 7 et 16 bars.



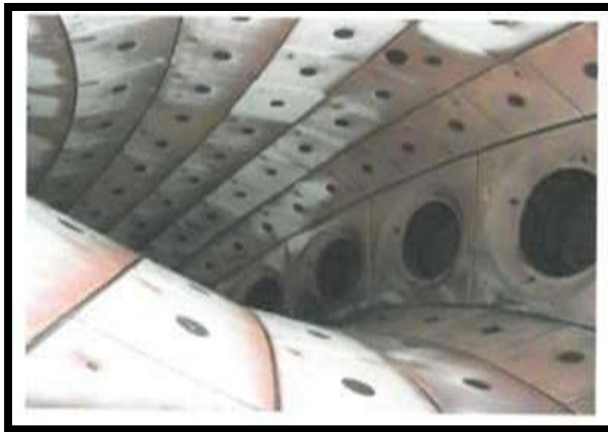
Figure I.7 Aubes du compresseur axial.

b) Chambre de combustion [8]

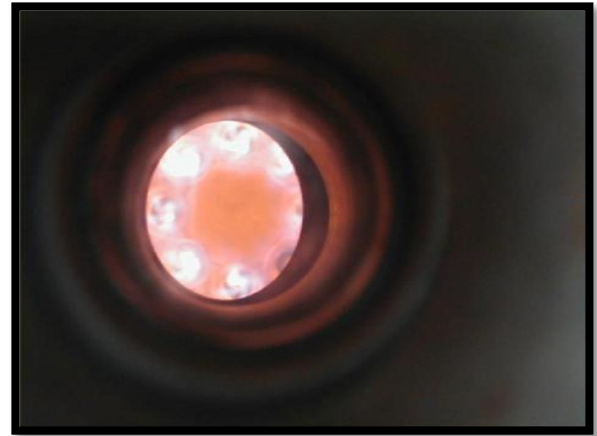
La chambre de combustion comprend une zone à flamme toroïdale munie de 24 brûleurs comme le montre la Figure I.8. La zone de la flamme est délimitée par deux parois et comprend un moyeu interne à une pièce qui entoure le rotor et une paroi externe qui est axialement répartie à la ligne centrale horizontale et loge les brûleurs. Ces trois pièces moulées ont un revêtement interne de parois métalliques anti-chaleur ou carreaux céramiques qui les protègent contre le flux de gaz chaud.

Après avoir extrait les flux partiels de l'air de refroidissement, l'air de sortie du compresseur écoule essentiellement à travers les tours billonneurs des brûleurs dans la zone de la flamme.

Un petit flux partiel est utilisé pour refroidir les boucliers thermiques de la zone de la flamme. Celle-ci est accessible à travers les trous d'homme dans le corps externe et la paroi externe. Les boucliers thermiques et les brûleurs peuvent être contrôlés et enlevés, si nécessaire, à travers ces trous d'homme. À partir d'ici, il est aussi possible de contrôler directement le premier étage de la turbine. Le deuxième étage peut être atteint à partir de là à l'aide d'un endoscope. Les 24 brûleurs dans la zone à flamme toroïdale produisent une plage de température relativement uniforme en amont de la turbine.



Chambre de combustion



Brûleur

Figure I.8 Chambre des combustions [10] et brûleur [9].

c) Turbine [9]

Les gaz chauds issus de la chambre de combustion se détendent dans une turbine à quatre étages comme le montre la Figure I.9. Cette opération est suivie par la création d'une grande quantité d'énergie mécanique faisant entraîner le rotor de la turbine à gaz.

En raison des contraintes thermiques et mécaniques importantes auxquelles elles sont soumises, les aubes de la turbine sont réalisées à partir d'alliage résistant aux hautes températures, puisque la température pénétrant dans la turbine est d'environ de 1190°C.

Les aubes des trois premiers étages sont dotées d'un revêtement de protection contre la corrosion à haute température. Les aubes fixes sont constituées d'un bandage extérieur, du pal et d'un bandage intérieur. Le bandage extérieur sert à maintenir l'aube dans la porte aube et constitue l'enveloppe extérieure de la veine des gaz chauds. Le bandage intérieur cote la veine des gaz chauds vers l'intérieur et supporte l'étanchéité interne.

Les quatre étages d'aubes fixes et les trois premiers étages d'aubes mobiles sont refroidis à l'air de refroidissement destiné à la turbine et prélevé aux étages appropriés du compresseur.

Les aubes sont refroidies par film, par impact ou par convection, selon les étages de la turbine.

B. Partie électrique**a) Alternateur [9]**

L'alternateur montré sur la Figure I.10 est une machine tournante destinée à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. L'alternateur est une machine génératrice de courant alternatif. Les alternateurs peuvent être polyphasés ou monophasés.



Figure I.9 Turbine.

On distingue parmi les alternateurs:

- Les alternateurs Basse Tension (220-380 V) utilisés principalement par les groupes de secours ;
- Les alternateurs Haute tension utilisés dans les centrales électriques dont les valeurs des tensions dépendent des puissances délivrées.



Figure I.10 Alternateur [9].

I.3.2.4. Cycles de la turbine à gaz [9]

A. Cycle de base (Cycle de Joule ou de Baryton)

Dans sa forme la plus simple, la turbine à gaz fonctionne selon le cycle dit de Joule (ou de Baryton) comprenant :

- Une compression adiabatique qui consomme de l'énergie mécanique ;
- Une combustion isobare qui produit de l'énergie thermique;
- Une détente adiabatique jusqu'à la pression atmosphérique qui produit de l'énergie mécanique.

Le cycle de Joule, comme il est bien représenté dans la Figure I.11, comporte deux processus isentropiques (adiabatiques et réversibles) et un processus isobare.

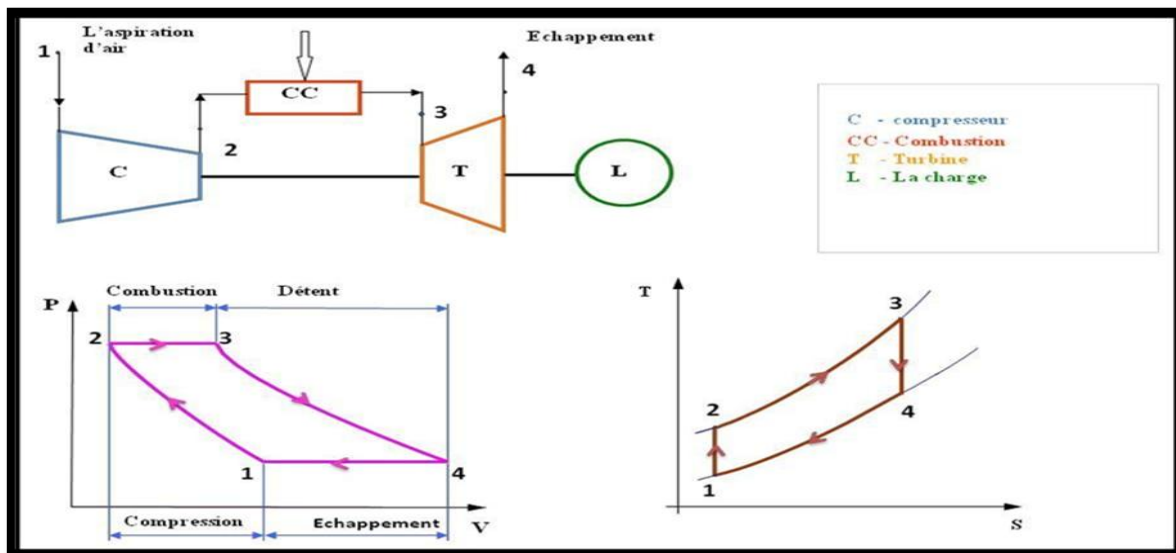


Figure I.11 Cycle de Joule (Baryton).

- 1 - 2 : Compression isentropique, (Compresseur) ;
- 2 - 3 : Combustion isobare, (Chambre de combustion) ;
- 3 - 4 : Détente isentropique, (Turbine) ;
- 4 - 1 : isobarique, (Echappement).

B. Cycle réel

Le cycle réel de la turbine à gaz simple s'écarte du cycle idéal tant par les irréversibilités dans le compresseur et la turbine que par la chute de pression dans la chambre de combustion et les canaux d'écoulement. Le cycle thermodynamique décrit par le fluide moteur pour le cycle réel de la turbine à gaz simple est représenté sur le diagramme (T, S) de la Figure (I.12).

Ce cycle comporte :

- Une compression adiabatique avec augmentation d'entropie de (1) à (2),
- Une combustion avec une chute de pression due aux pertes de charge de (2) à (3),

- Une détente adiabatique jusqu'à la pression atmosphérique avec augmentation d'entropie de (3) à (4).

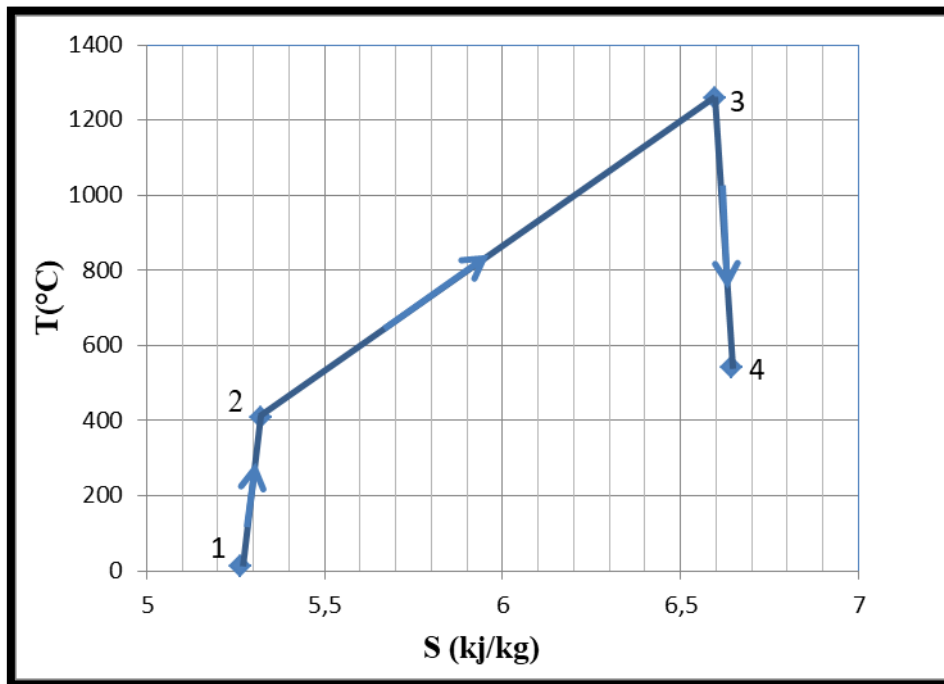


Figure I.12 Cycle réel de la turbine à gaz M'sila III.

Conclusion

La wilaya de M'sila, issue du découpage administratif de 1974, est située au nord du pays à 250 km au sud d'Alger. Elle est occupée en moyenne par 76 habitants au km². Le territoire de la wilaya est considéré comme une zone charnière et de transition entre les deux massifs montagneux, l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. La zone de steppe couvre la plus grande partie du territoire, soit 55%. Alors que 01% de la superficie de la wilaya est occupé par les dunes de sable. De plus 33% du territoire de la wilaya est réservée essentiellement à la céréaliculture, aux cultures maraîchère et aux arboricultures. Dans le cadre du plan quinquennal 2010-2014, le secteur industriel de la wilaya de M'sila a bénéficié d'une enveloppe financière estimée à 29 milliards de dinars. Cette enveloppe a permis la réalisation de plusieurs projets.

Chapitre II:

Simulateur HYSYS

II.1. Introduction

La simulation est un outil utilisé dans différents domaines de l'ingénierie et de la recherche en général, permettant d'analyser le comportement d'un 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 des scénarios et d'en déduire le comportement du système physique analysé.

Un modèle n'est pas une représentation exacte de la réalité physique, mais il est seulement apte à restituer les caractéristiques les plus importantes du système analysé.

Il existe plusieurs types de modèle d'un système physique : allant du modèle de représentation qui ne s'appuie que sur des relations mathématiques traduisant les grandes caractéristiques de son fonctionnement, jusqu'au modèle de connaissance complexe issu de l'écriture des lois physiques régissant les phénomènes mis en jeu. Le choix du type de modèle dépend principalement des objectifs poursuivis. [11]

II.2. Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs

Les simulateurs de procédés utilisés classiquement dans l'industrie, peuvent être considérés comme des modèles de connaissance. Ils sont basés sur la résolution de bilans de masse et d'énergie, des équations d'équilibres thermodynamiques, ... et sont à même de fournir l'information de base pour la conception. Ils sont principalement utilisés pour la conception de nouveaux procédés (dimensionnement d'appareil, analyse du fonctionnement pour différentes conditions opératoires, optimisation), pour l'optimisation de procédés existants et l'évaluation de changements effectués sur les conditions opératoires. Avant même de parler de modèles d'opération de transformation de la matière, il faut des modèles pour prédire les propriétés physiques de la matière. C'est pourquoi ces simulateurs disposent tous d'une base de données thermodynamiques contenant les propriétés des corps purs (masse molaire, température d'ébullition sous conditions normales, paramètres des lois 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 différentes opérations unitaires constituant l'unité (PFD pour 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, échangeurs de chaleur, pertes de charges, etc.
- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles.

Avec ce type de logiciel, les ingénieurs peuvent à partir de la donnée des corps purs présents dans le procédé et du schéma de procédé, développer un modèle du processus reposant sur la mise en commun des équations décrivant les différentes opérations unitaires, les réactions chimiques, les propriétés des substances et des mélanges, qui puisse aussi communiquer avec d'autres applications comme Excel, Visual Basic et Matlab, [12]

II.3. Type de simulation [13]

On peut distinguer principalement deux types de simulation dans le cas des procédés chimiques :

II.3.1. La simulation statique (steady state)

La simulation statique a pour caractéristique fondamentale d'être dédiée aux calculs de bilan matière et enthalpique ainsi qu'aux calculs d'équilibres entre phases. Les performances des appareils sont estimées à partir des valeurs fournies par l'utilisateur tout en calculant l'évolution du système en régime stationnaire.

Le procédé est décomposé en blocs représentant les différentes opérations unitaires mises en œuvre. Les blocs sont liés entre eux par des flux de matière ou d'énergie.

II.3.2. La simulation dynamique (transient state)

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

Par les moyens de simulation dynamique, il est possible de suivre le comportement des variables principales du procédé quand elles sont sujettes de perturbations quelconque dans les opérations industrielles.

II.4. Utilisation de la simulation

Les différentes tâches qu'un simulateur de procédé devrait effectuer sont :

- Dans la conception (engineering) :
 - La résolution des bilans de matières et d'énergie.
 - Le dimensionnement des équipements.
 - L'évaluation économique du procédé.
 - L'optimisation du procédé.

- Dans le suivi des procédés :
 - Réajustement des paramètres de fonctionnement dans le cas des changements de composition de l'alimentation.
 - Détermination de la performance des équipements. [14]

II.5. Définition du logiciel Aspen HYSYS

Aspen HYSYS est un outil de modélisation de processus de simulation en régime permanent, la conception performance, le suivi, l'optimisation et la planification des activités pour les produits chimiques, les produits chimiques de spécialité, la pétrochimie et les industries et la métallurgie. [15]

HYSYS n'est pas le logiciel de simulation le plus flexible, ni le plus utilisé dans l'industrie, mais il a l'avantage d'être convivial et facile à utiliser une fois que les éléments de base sont compris. HYSYS a été développé pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques.

Les simulations sont accomplies en utilisant les outils des menus. En plus, il dispose d'une interface graphique pour la construction des diagrammes du procédé (PDF – Process Flow Diagrams).

II.6. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS

II.6.1. Concepts de base du simulateur HYSYS

On définit les principaux concepts de base et vocabulaires associés, qui sont utilisés pendant les étapes de construction d'un modèle dans le simulateur HYSYS :

- « Flowsheet » : c'est un ensemble d'objets « Flowsheet Elements » (courants de matière, d'énergie, d'opérations unitaires, de variables opératoires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique « Fluid Package ». Il possède un certain nombre d'entités particulières : un « ProcessFlow Diagram » (PFD), un « Workbook ».
- « Fluid Package » : il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leurs affecte, 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 » : ce diagramme permet de visualiser les courants et les opérations unitaires, représentées par des symboles dans le « Flowsheet », ainsi que la connectivité entre les courants, les opérations unitaires et les tableaux des propriétés des courants.
- « 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 principal 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 des « Fluid Packages », « Flowsheets » et « Flowsheet Elements » qui constituent le modèle. [16]

II.6.2. Environnement de simulation

Il existe 5 environnements de développement pour manipuler et mettre en forme l'information dans le simulateur :

- **Environnement « Basis Manager »**: cet environnement permet de créer et modifier le «Fluid Package ».
- **Environnement « Oil Characterization »**: il est utilisé pour caractériser les fluides de type pétrolier.
- **Environnement « Main Flowsheet »**: il permet de définir la topologie du Flowsheet principal de la simulation. Il est utilisé pour placer et définir les différents courants, opérations unitaires et «Sub-Flowsheets » qui constituent le procédé simulé.
- **Environnement « Sub-Flowsheet »**: il permet de définir la topologie d'un sous ensemble particulier du schéma principal (un courant ou une opération particulière et des autres Sub-Flowsheets).

- **Environnement « Column »** : c'est un objet particulier permettant de définir la topologie de l'opération unitaire colonne à distiller. Il possède ses propres «Flowsheet», «Fluid Package», «PFD» et «Workbook». [16]

II.6.3. Les caractéristiques principales de HYSYS

Le logiciel HYSYS comme tous les logiciels de simulation a des caractéristiques qui le distinguent des autres, tel que :

- Facile à utiliser et ses résultats sont fiables.
- 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.
- On peut automatiser différents tâches dans Hysys sans avoir besoin d'un autre programme.
- Le simulateur Hysys combine le calcul interactif avec un accès instantané à l'information.
- Les calculs des propriétés thermodynamiques s'effectuent instantanément et automatiquement dès qu'une nouvelle information est disponible. [17]

II.7. Structure générale du HYSYS

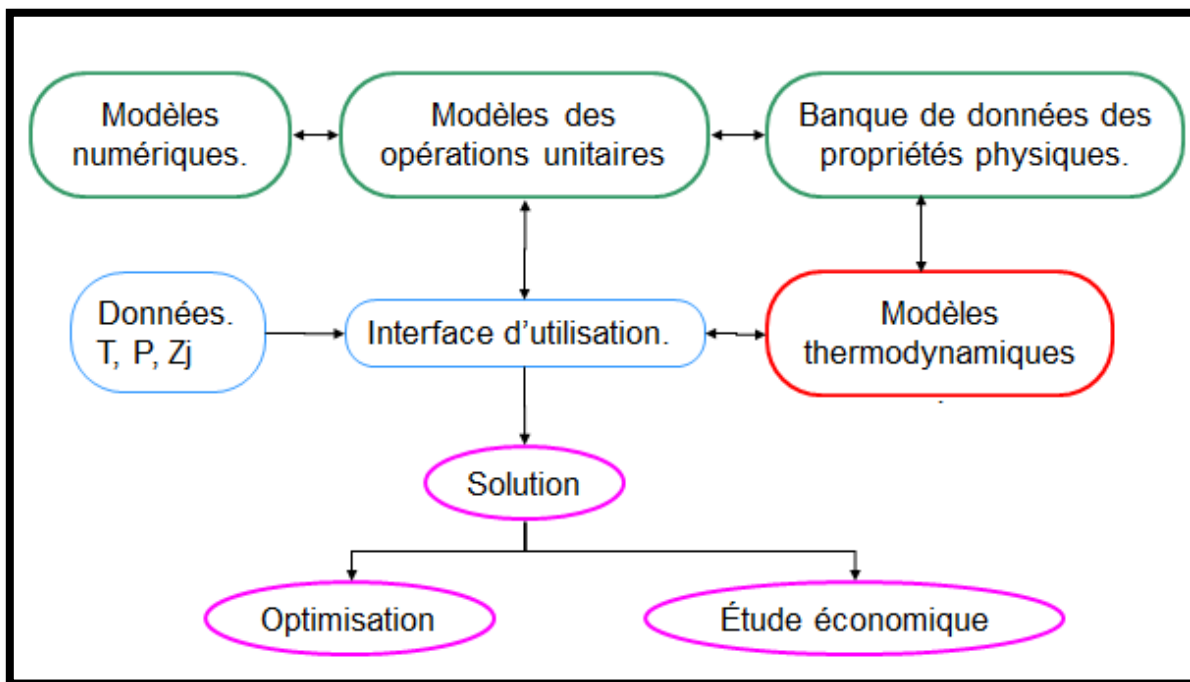


Figure II.1: Structure générale du HYSYS.

II.8. Les modèles thermodynamique de HYSYS

Les équations d'état

- ❖ Les modèles basés sur les équations d'état (RK, SRK, PR...etc.); sont souvent utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbures et des systèmes presque idéaux.

Leurs avantages par rapport aux autres modèles résident dans le fait de l'utilisation des coefficients d'interaction-binaire. En générale les équations d'état permettent de calculer l'ensemble des propriétés des produits par rapport à la température et aux fractions molaires.

❖ Equation de REDLICH-K WONG (RK)

Considérer comme la plus simple des équations d'état, elle est très utilisée pour prédire d'état de la phase vapeur.

$$P = \frac{RT}{V-b} - a/\sqrt{T} \frac{1}{V(V+b)} \quad (\text{II.1})$$

❖ Equation de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK)

Cette équation modifiée celle de REDLICH-KWONG, par l'introduction d'une fonction $a(T)$ qui dépend du facteur acentrique.

L'équation de **SOAVE** est de la même forme générale que l'équation

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)} \quad (\text{II.2})$$

SOAVE a introduit les relations suivantes pour exprimer la fonction (T):

$$a(T) = a_c a(T_R) \quad (\text{II.3})$$

Avec :

$$a(T_R) = \left[1 + m \left(1 - \sqrt{T_R} \right) \right] \quad (\text{II.4})$$

Le coefficient m est calculé en fonction du facteur acentrique ω :

$$m = 0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2 \quad (\text{II.5})$$

❖ Equation de PENG-ROBINSON

L'équation de PENG-ROBINSON diffère de l'équation de SOAVE par l'expression du terme d'attraction. Elle a été introduite en vue d'améliorer les résultats obtenus par l'équation de SAOVE, notamment en ce qui concerne le calcul des densités en phase liquide, sans modifier le nombre de paramètres :

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)+b(V-b)} \quad (\text{II.6})$$

Les termes (T) et b sont définis comme suit :

$$a = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} a(T_R) \quad (\text{II.7})$$

Le terme (**TR**) présente la même forme générale que dans le cas de l'équation de SOAVE. Il suit la relation, mais la fonction reliant le paramètre m au facteur acentrique ω est différente:

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad (\text{II.8})$$

Ces équations sont très largement utilisées dans les modèles de simulation, en production et traitement de gaz. L'équation la plus recommandée pour les systèmes d'hydrocarbures est l'équation de PENG ROBINSON, car elle résout correctement les problèmes d'équilibre et

permet de prédire des densités liquides plus en accord avec les valeurs réelles que les autres équations. [16]

II.9. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS

Pour réaliser une simulation en HYSYS, les pas suivants sont nécessaires :

1. Choix des composés ;
2. Sélection d'un modèle thermodynamique ;
3. Construction du PFD ;
4. Spécification des courants et des unités ;
5. Exécution du programme de simulation ;
6. Interprétation des résultats.

II.10. Démarrage de HYSYS [17]

Comme toutes les versions des simulateurs orientés module (OM), pour pouvoir accéder à la palette de dessin intégrée dans le logiciel utilisé, la liste des constituants ainsi que le modèle dynamique que doivent être spécifiés. Donc les étapes consécutives dans ce logiciel sont les suivantes :

II.10.1. Créer une nouvelle feuille de simulation

Pour commencer une nouvelle feuille de simulation appuyer sur la nouvelle icône comme indiqué dans la Figure III.2

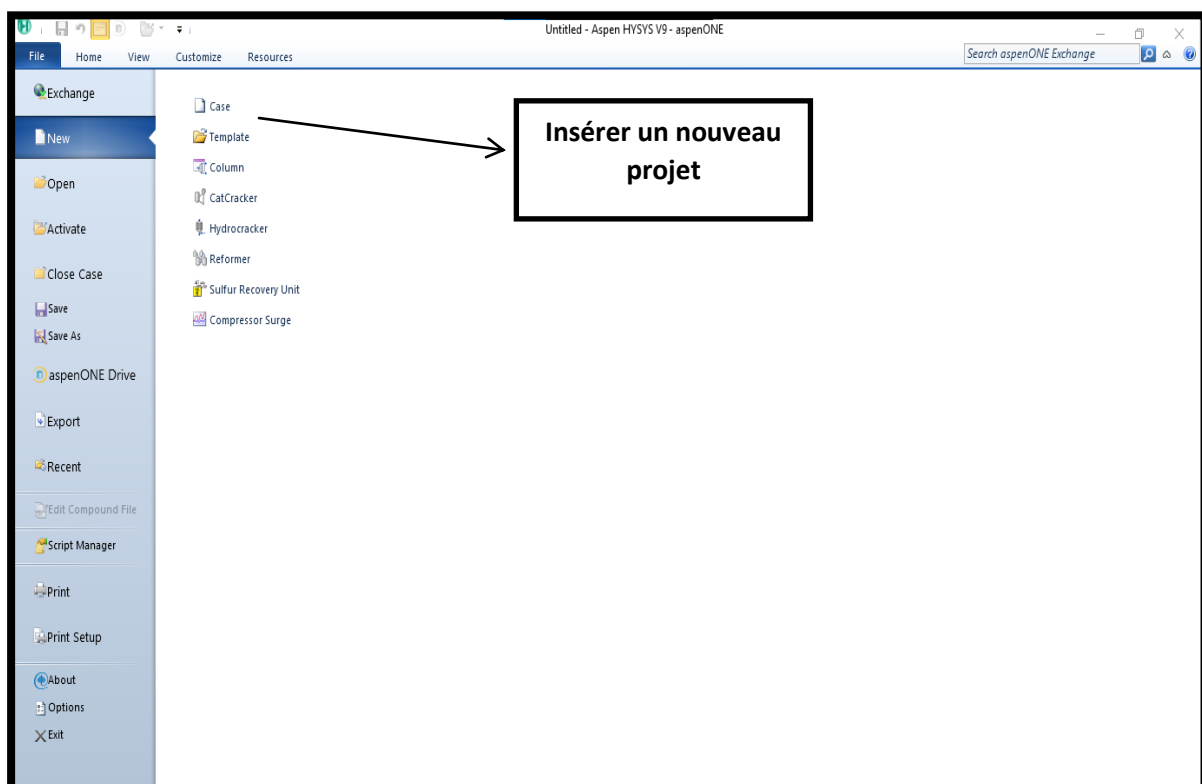


Figure II.2: La touche pour créer une nouvelle feuille de simulation en HYSYS V9.

II.10.2. Choisir le modèle thermodynamique

Le modèle thermodynamique est un paramètre important pour converger les résultats de simulation aux résultats réels. Chaque modèle dépend des constituants du problème de simulation et des coefficients par binaires sont intégré dans la base de donnée qui sont modifiables par accès à la touche Binary coeffs. Pour sélectionner le modèle thermodynamique, aller à la touche Add et choisir le modèle thermodynamique sur la fenêtre affichée par simple click comme elle montre la Figure II.3.

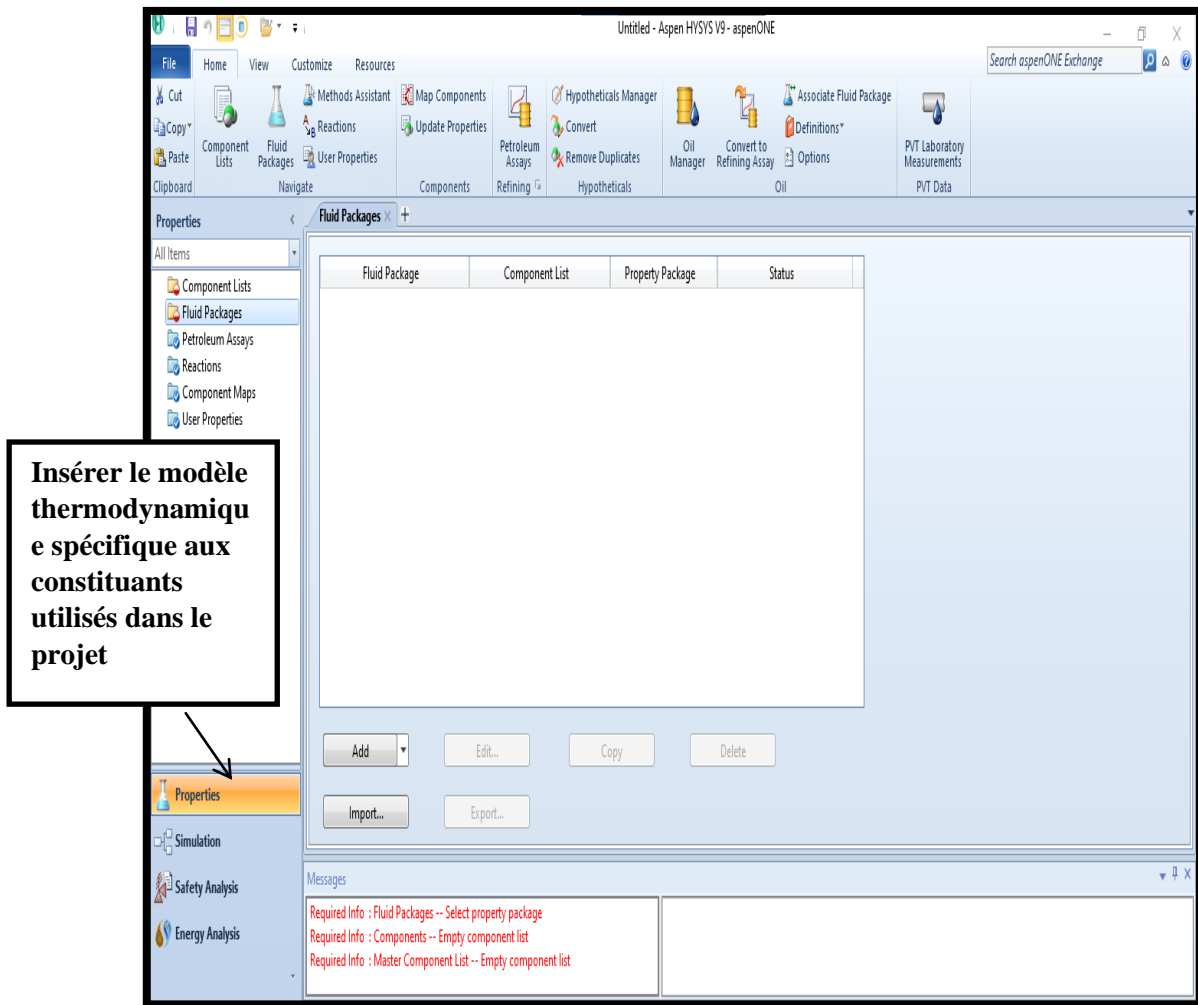


Figure II.3: La touche pour insérer le modèle thermodynamique en HYSYS V9.

II.10.3. Choisir les composés chimiques

Sélectionner les composés nécessaires à la simulation. La recherche d'un constituant chimique dans ce logiciel peut se faire de trois méthodes : par son nom commun, par son nom commercial ou par sa formule chimique, la Figure II.4 montre comment insérée les constituants en HYSYS V9.

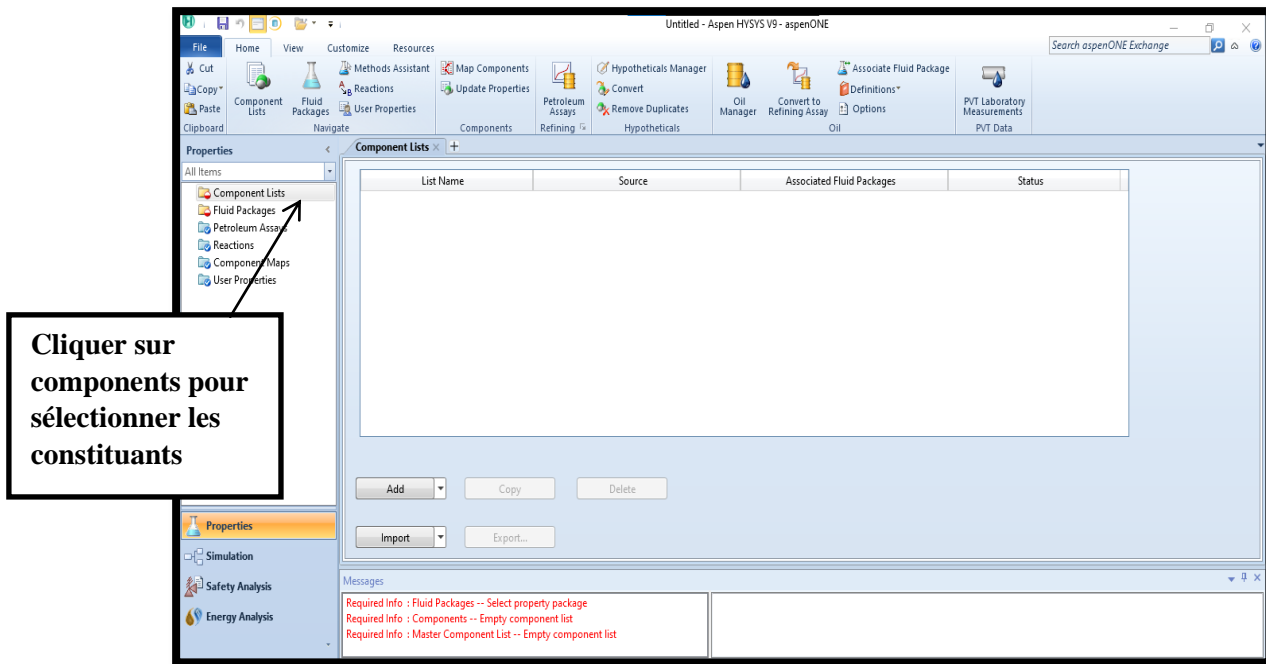


Figure II.4: La touche pour insérer les constituants en HYSYS V9.

II.10.4. Accéder à l’environnement de simulation

Une fois introduit la liste des constituants et le modèle dynamique, appuyer sur le bouton « Simulation » pour accéder à la fenêtre **PF**D (les Procédé, les courants, les diagrammes). L’affichage obtenu contient une palette de dessin qui englobe tous les équipements opérationnel qui peuvent être utilisé par ce logiciel, le courant de matière (la flèche en bleu), le courant énergie (la flèche en rouge)...ect , comme le montre la Figure II.5.

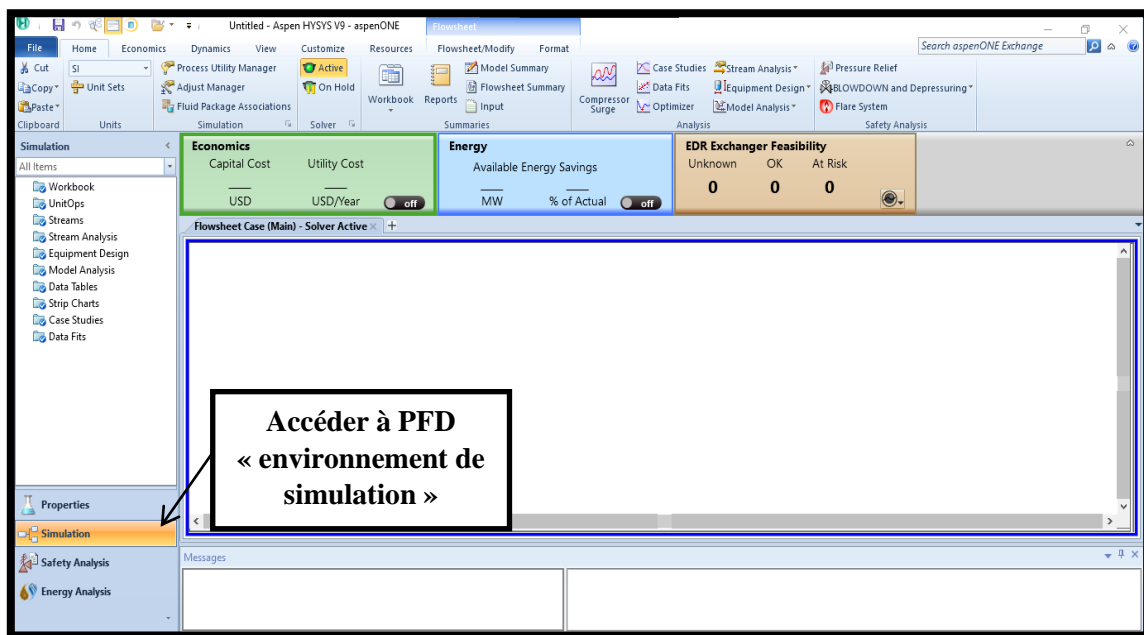


Figure II.5: La touche pour accéder au PFD en HYSYS V9.

II.10.5. Construction du PFD (PFD (les Procédé, les courants, les diagrammes))

Ceci est réalisé en sélectionnant les opérations sur la palette d'objets latérale, chaque équipement industriel à un nombre de degré de liberté et ne peut converger que si le nombre des paramètres indépendant introduit à cette équipement est égale au nombre de degré de liberté.

II.11. Création d'une feuille de simulation [17]

Avant de commencer une simulation certaine connaissance doivent être acquise par l'utilisateur de simulation tel que la famille des constituants à utiliser (alcool, acide, base ect.), le type de polarité des constituants, l'état des constituants ect, le modèle thermodynamique approprié à utiliser pour cetype de constituants, pour ces conditions opératoires du procédés et pour l'équipement utilisé.

II.11.1. Sélection et création de nouveaux composés

Pour modéliser un procédé suivant l'approche modulaire, il faut définir tous les constituants intervenant dans le procédé industriel (par une sélection des composés chimiques de la bibliothèque du simulateur). La recherche d'un constituant chimique peut se faire par filtration selon :

- Sa famille chimique : Correspond à un ensemble de substances ayant en commun certains groupes fonctionnels (alcools, cétones, aldéhydes, ...).
- Sa formule chimique.
- Sa nomenclature.

Comme illustré ci-dessous

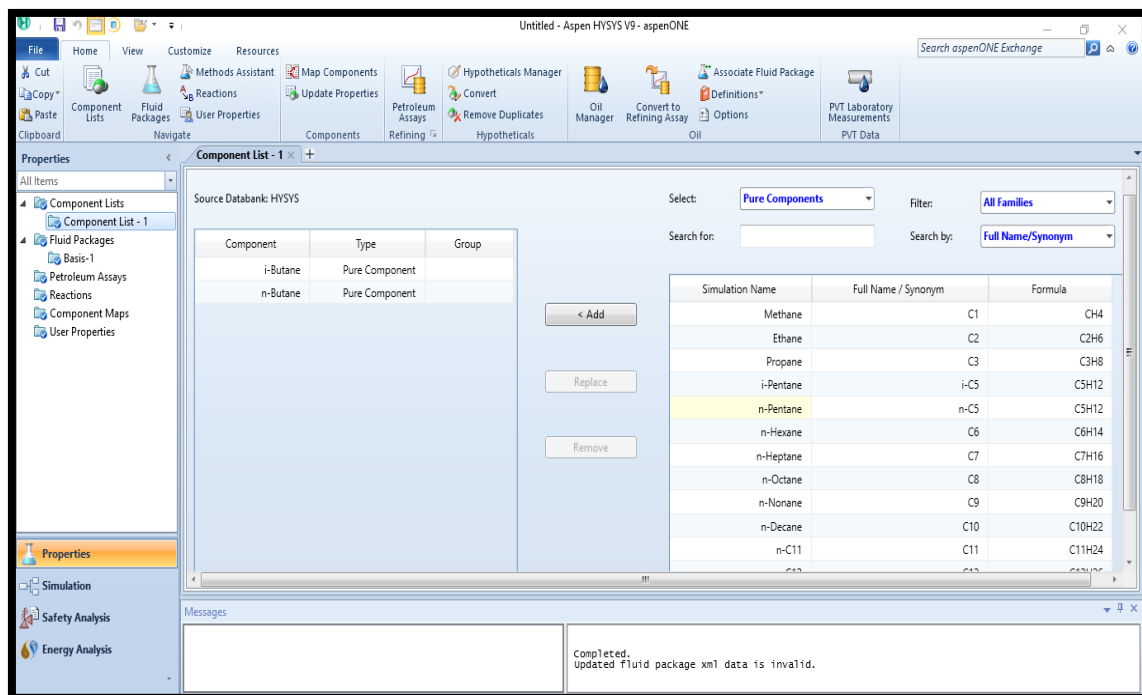


Figure II.6: Rubrique représentative de sélection des composés de la bibliothèque de HYSYS V9.

On peut créer de nouveaux composés chimique et les intégrer à la base de donnée par ajout de paramètres physico chimique de ces nouveaux constituants tel que la formule chimique, la masse molaire, la température d'ébullition, etc. Comme la Figure II.7 représente.

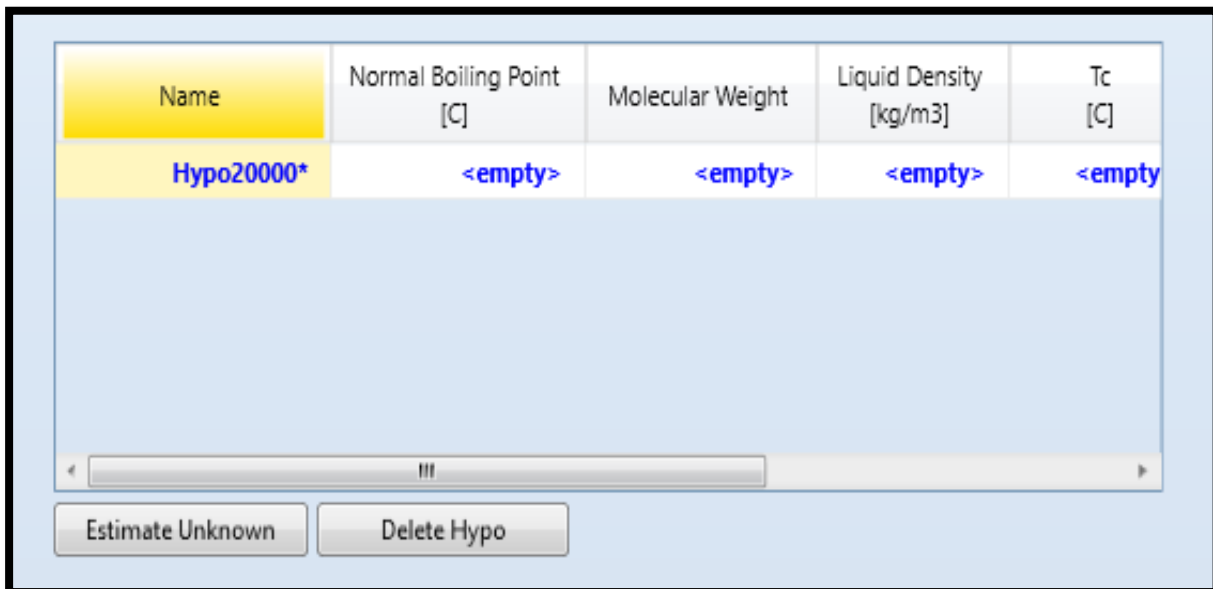
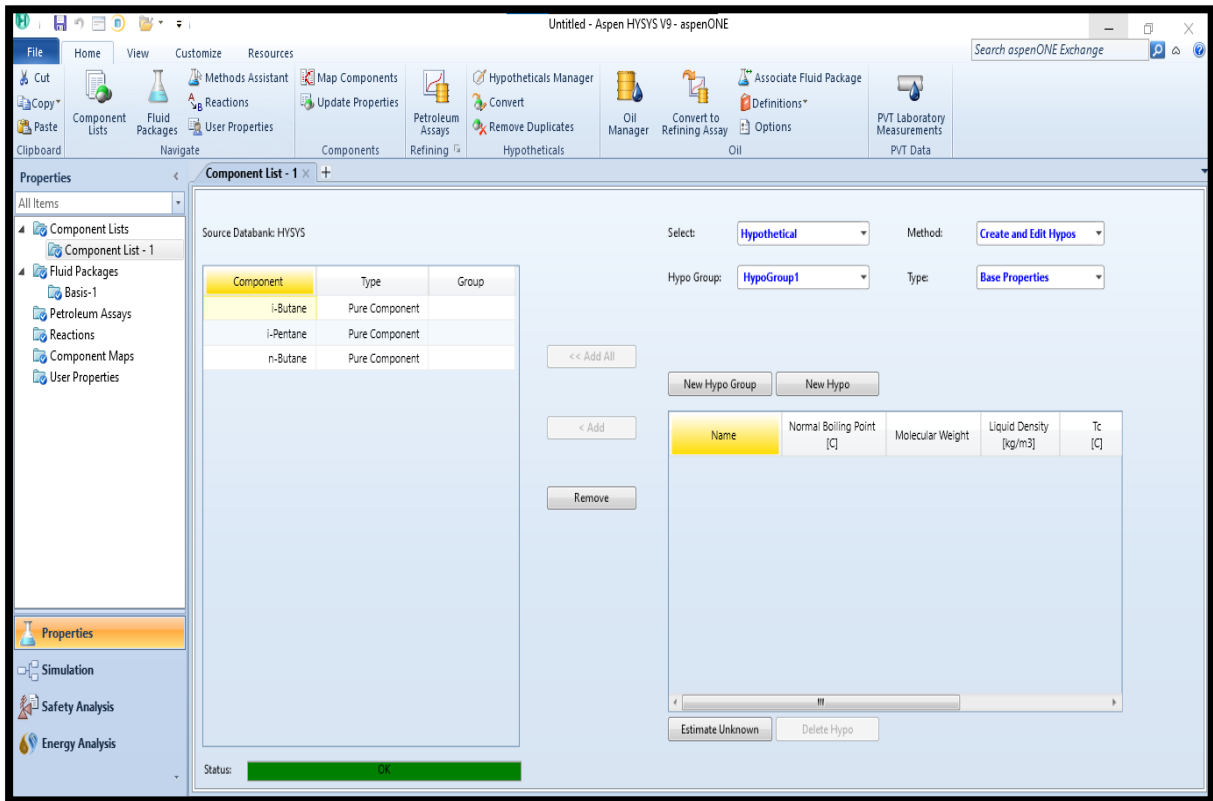


Figure II.7: Rubriques représentatives de création de nouveaux composés chimique en HYSYS V9.

II.11.2. Bibliothèque thermodynamique des logiciels Orienté module (OM)

L'utilisation de l'ordinateur pour la simulation et la conception de procédés chimiques impose d'avoir des expressions analytiques permettant d'accéder aux variables d'état

thermodynamiques les plus importantes (T,P, ...) et aux variables de transfert (viscosité, conductivité thermique et coefficient de diffusion). De plus, un problème important rencontré en génie chimique réside dans le calcul des équilibres entre phases et des enthalpies pour les systèmes multi constituants. Un système de calcul efficace n'est capable de donner des résultats fiables que si des modèles appropriés sont disponibles. Ainsi, un système avancé doit pouvoir offrir de nombreuses méthodes d'estimation qui reposent sur des modèles thermodynamiques dont le choix doit être principalement dicté par le souci de rigueur, de fiabilité et de validité pour un nombre maximum de corps purs et de mélanges. Les conditions d'équilibre dans un système multiphasique sont formulées en écrivant l'égalité des fugacités des constituants i présents dans chacune des phases, soit pour un système diphasique liquide - vapeur :

$$f_i^V(T, P, y) = f_i^L(T, P, x) \quad (\text{II.9})$$

Nous nous limitons à présenter les modèles les plus largement utilisés pour le calcul des équilibres entre phases dans le contexte des simulateurs de procédés (OM).

II.11.3. Installation et spécification des courants de matière et d'énergie

Les courants d'un simulateur caractérisent les flux de matière, d'énergie et d'information qui circulent entre les unités du procédé. Le courant matière représente le flux de matière qui circule entre deux unités. Le courant énergie correspond soit à un transfert thermique (puissance thermique) entre deux fluides au travers d'une paroi d'échange, soit à un transfert de puissance mécanique par l'intermédiaire d'un arbre qui relie par exemple une turbine à un compresseur.

a/ Le courant matière: L'ensemble habituellement choisi qui caractérise un courant matière est la température, la pression, le débit total et les fractions molaires ou massiques de chaque constituant.

À partir de cet ensemble, le simulateur peut calculer toutes les autres grandeurs qui caractérisent un courant, telles que le débit total, les quantités et les fractions molaires des phases en équilibre, l'enthalpie totale (ou la température), les enthalpies des phases et tout un ensemble de propriétés physico-chimiques, et ceci grâce à un serveur de propriétés physico-chimiques. Comme le montre la Figure II.8

Le simulateur peut calculer tous les paramètres présents dans le tableau de spécification du courant de matière en introduisant les valeurs de la température ou la fraction vaporisée, la pression, le débit totale massique ou molaire ou volumique et la composition massique ou molaire. Le débit et la composition peuvent être remplacés par le débit de chaque constituant présent dans le mélange. Comme le montre la Figure II.9

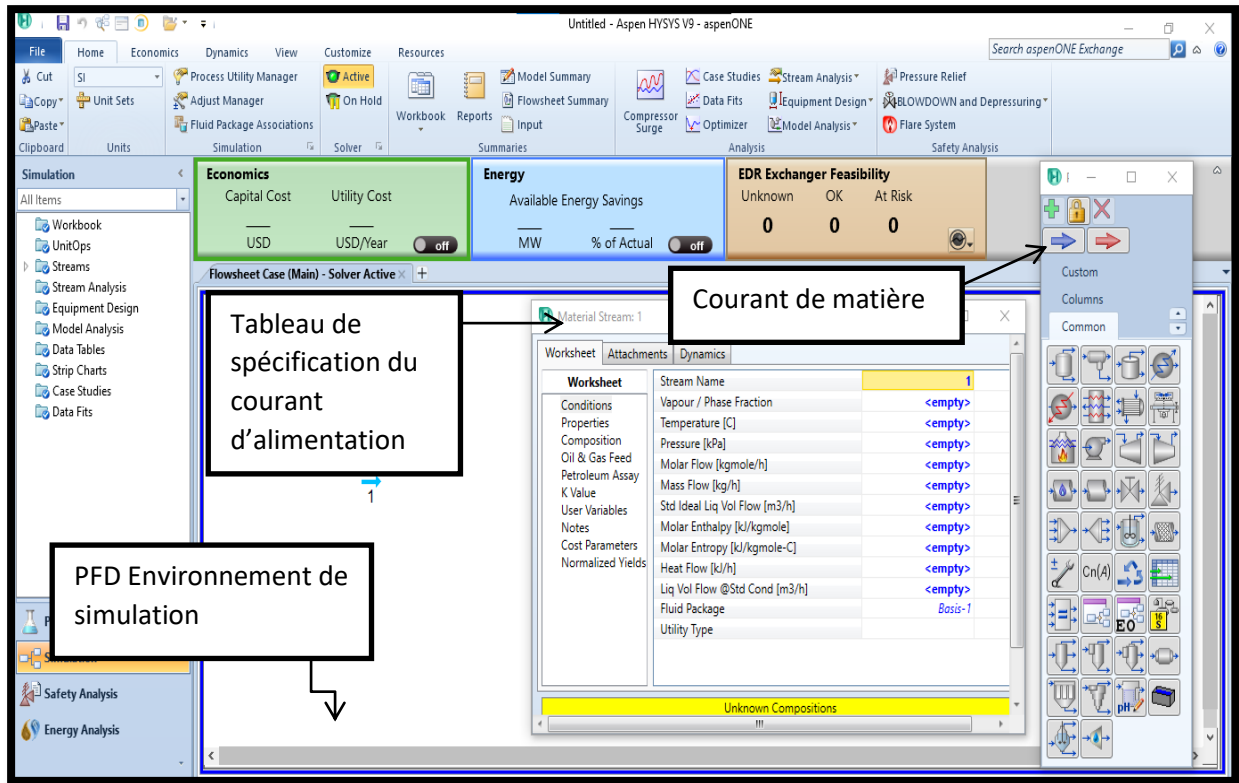


Figure II.8: Rubrique représentative de spécification de courant de matière en HYSYS V9.

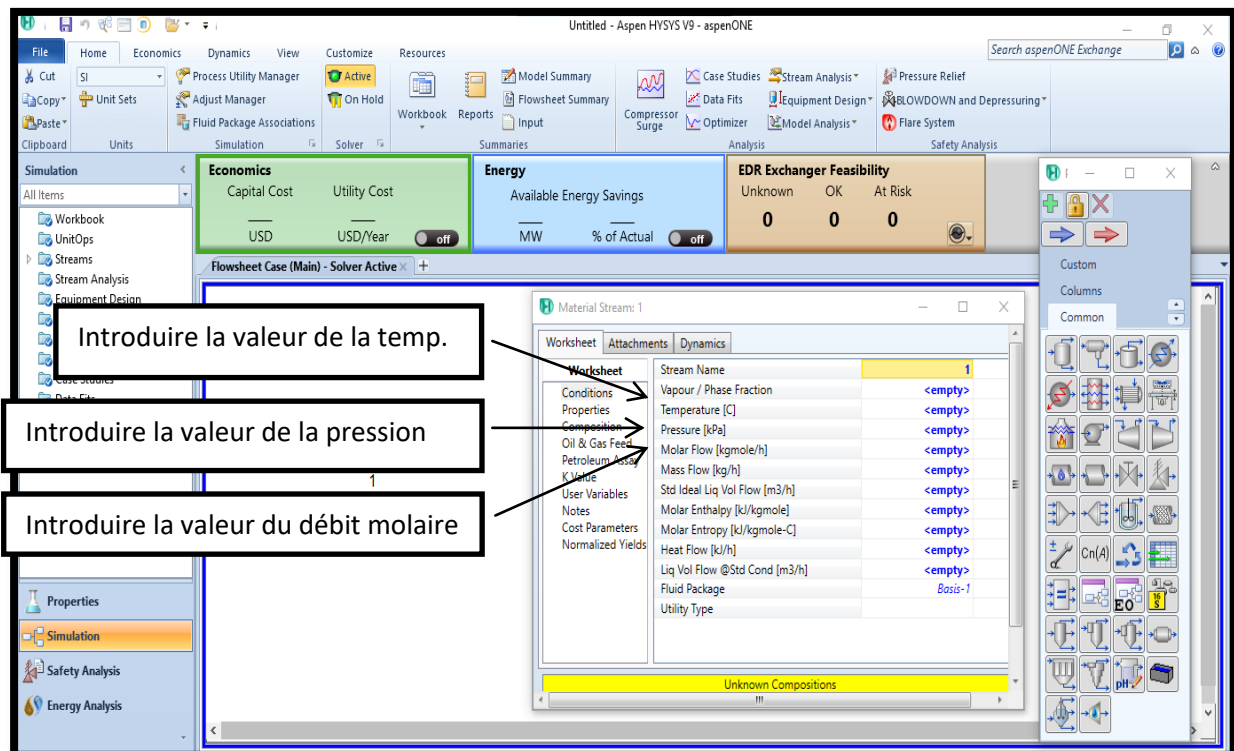


Figure II.9: Rubrique représentative de spécification de courant de matière convergéen HYSYS V9.

b/ Le courant énergie: Pour définir un « courant énergie », une seule variable doit être spécifiée qui est le flux énergétique. A partir de cette valeur, la température de ce courant énergétique sera déterminée. Comme le montre la Figure II.10

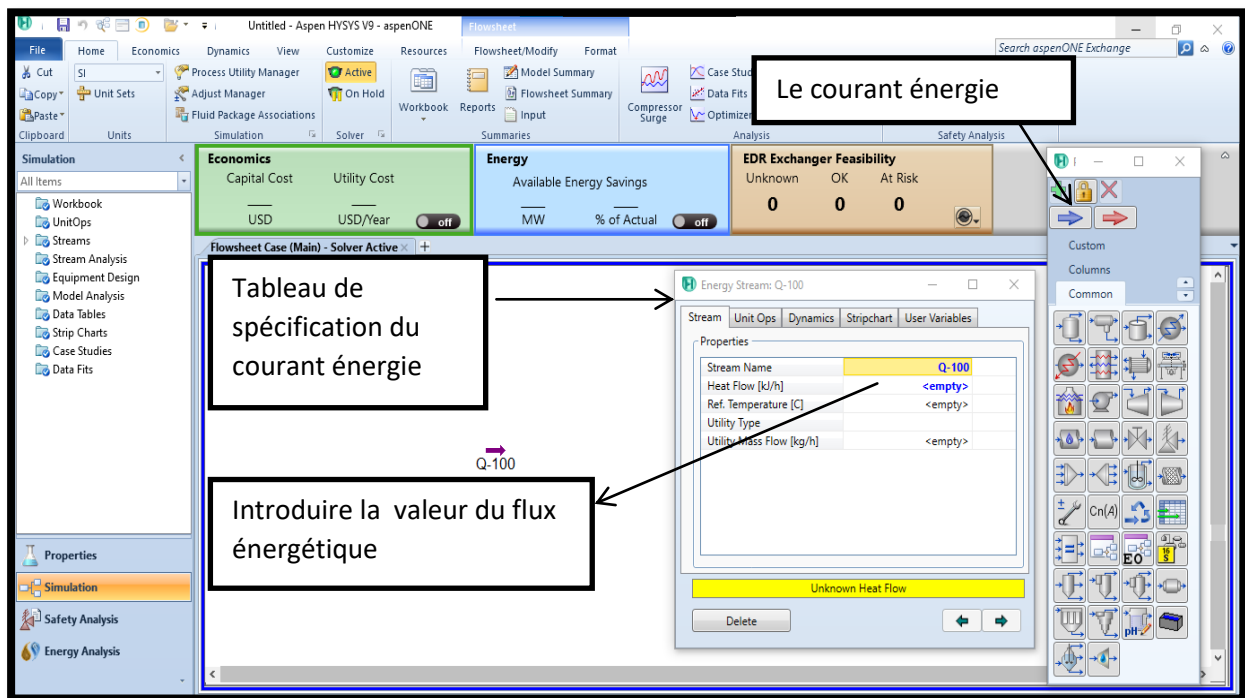


Figure II.10: Rubrique représentative de spécification de courant d'énergie en HYSYS V9

II.11.4. Définir les modules (les équipements) d'opérations unitaires d'un procédé [18]

On considérant que les courants d'entrés dans chaque équipement (module) sont caractérisés et le but de traitement et simulation fixé. Les figures suivantes donnent une description sommaire des modules les plus couramment rencontrés dans les bibliothèques des simulateurs de procédés (OM). Ces figures ne sont évidemment pas exhaustives et se veut juste illustratives des modules de représentation du fonctionnement des opérations unitaires de génie des procédés. Pour chaque module, l'ensemble minimal des paramètres que doit spécifier l'utilisateur est fourni, sans détailler toutes les options.

A. Mixer

La Figure II.11 représente le schéma d'un mixeur.

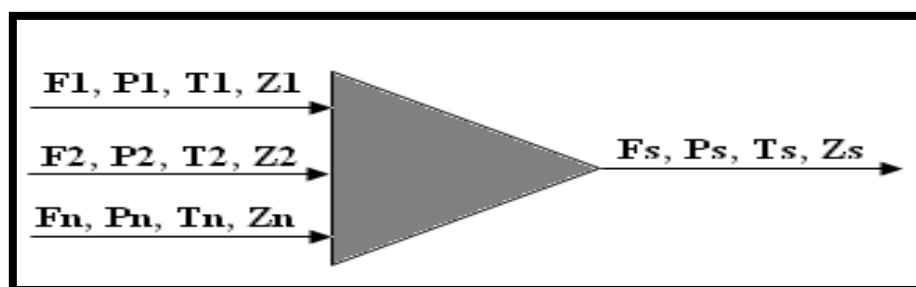


Figure II.11: Schéma d'un mixeur

Installation d'un mélangeur

La Figure II.12. représente le mixeur sous HYSYS.

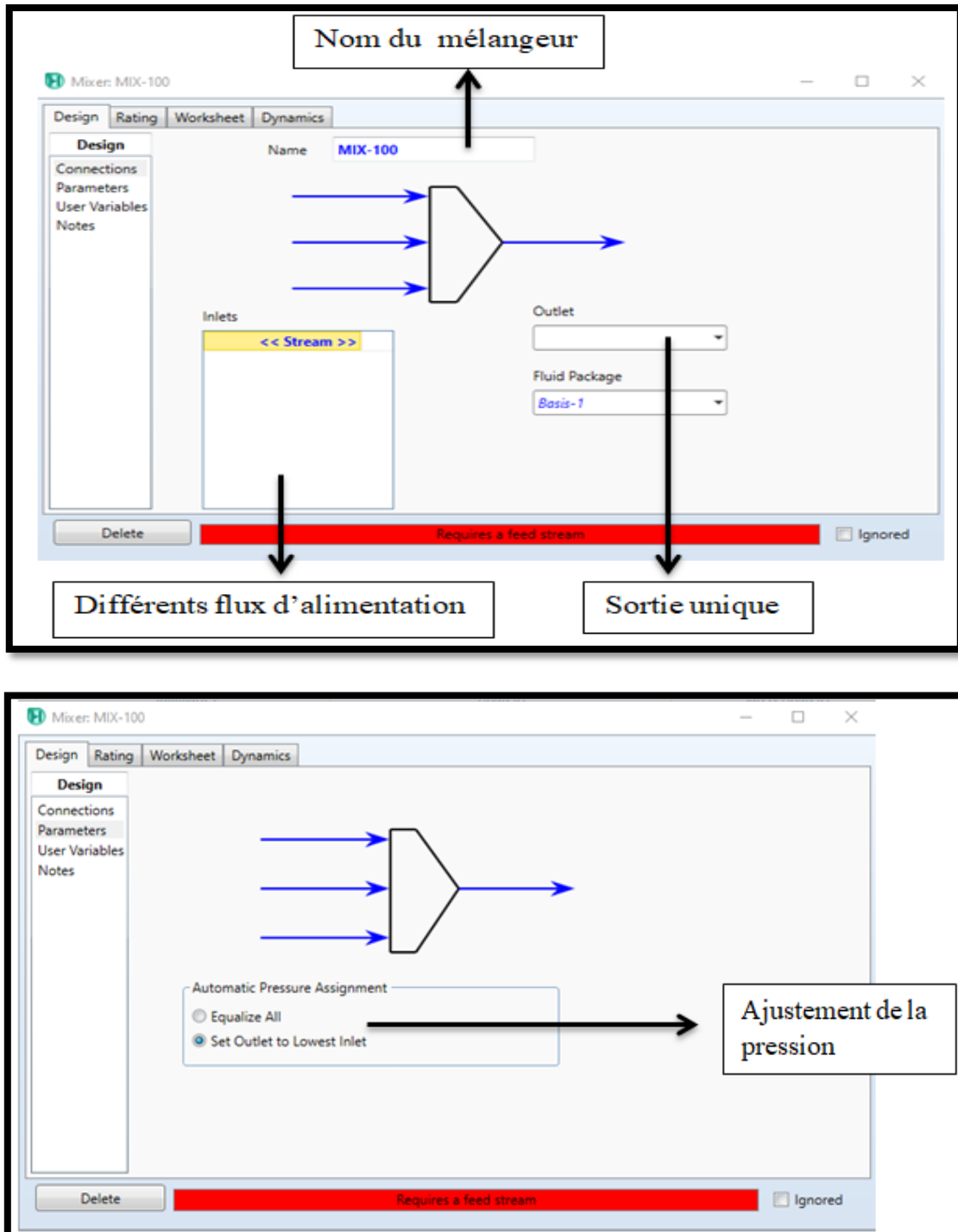


Figure II.12. Mixeur sous HYSYS.

B. TEE

La Figure II.13 représente le schéma d'un TEE.

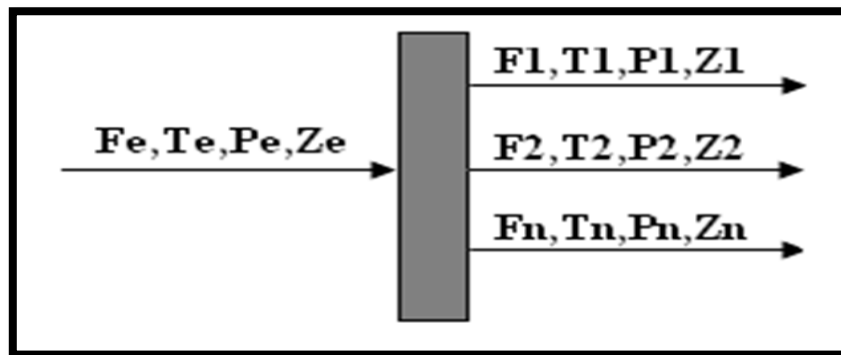


Figure II.13. Schéma de TEE.

Installation d'un TEE

La Figure II.14. représente le TEE sous HYSYS.

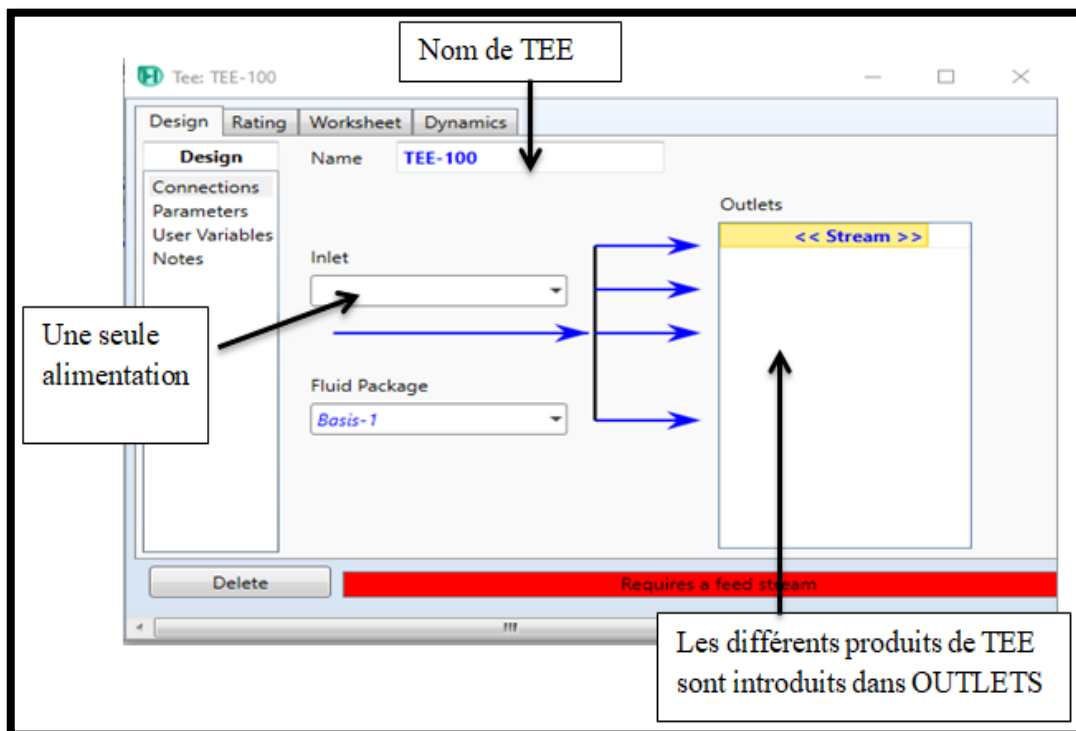


Figure II.14. TEE sous HYSYS.

C. VANNE

La Figure II.15 représente le schéma d'une vanne.

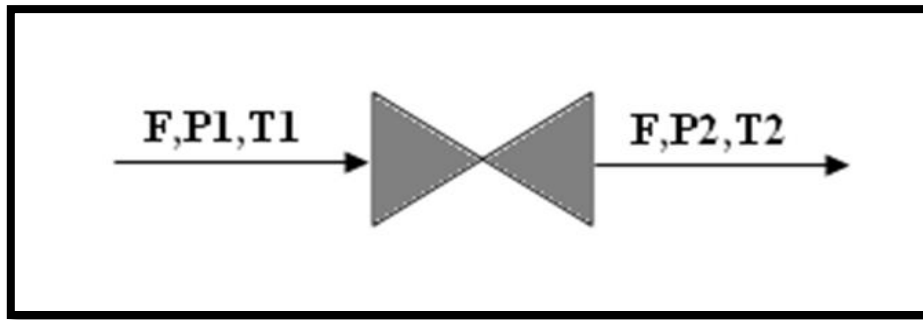


Figure II.15. Schéma d'une vanne.

Installation d'une vanne (Design)

La Figure II.16 représente une vanne sous HYSYS.

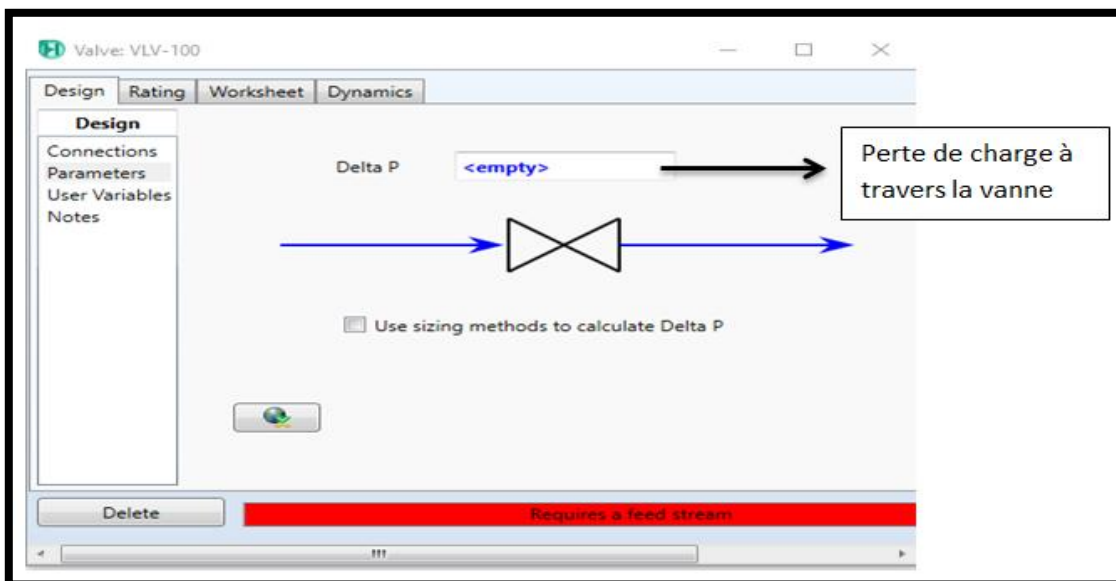
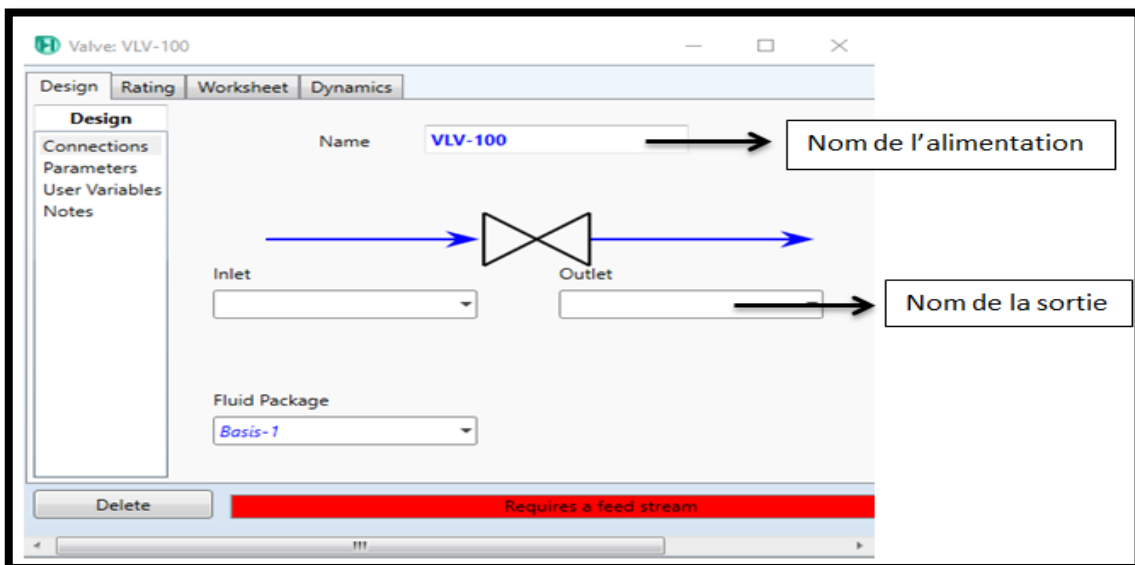


Figure II.16. Vanne sous HYSYS.

D. Conduit (Segment de Pipe)

Segment de conduit est utilisé pour simuler les systèmes des tuyaux existants dans les installations (réseaux de canalisation) par une estimation rigoureuse de perte de charge et de transfert de chaleur.

La Figure II.17 représente le schéma de conduit.

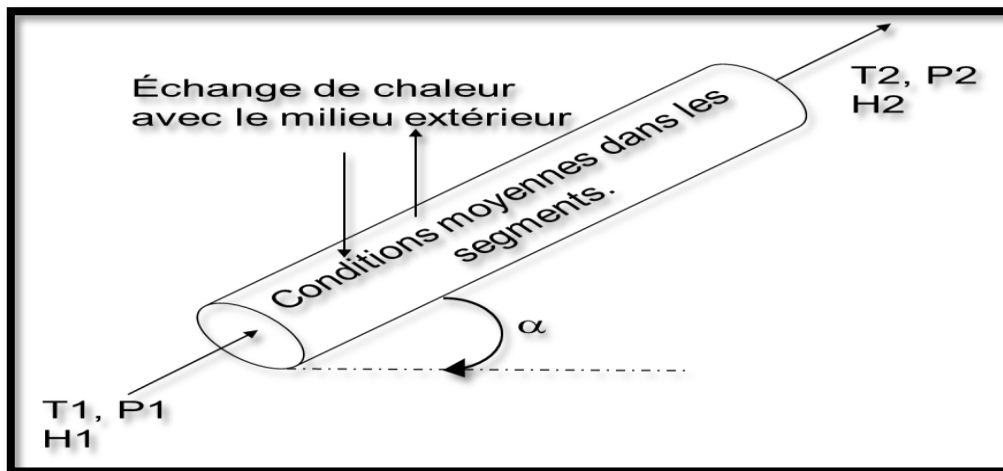
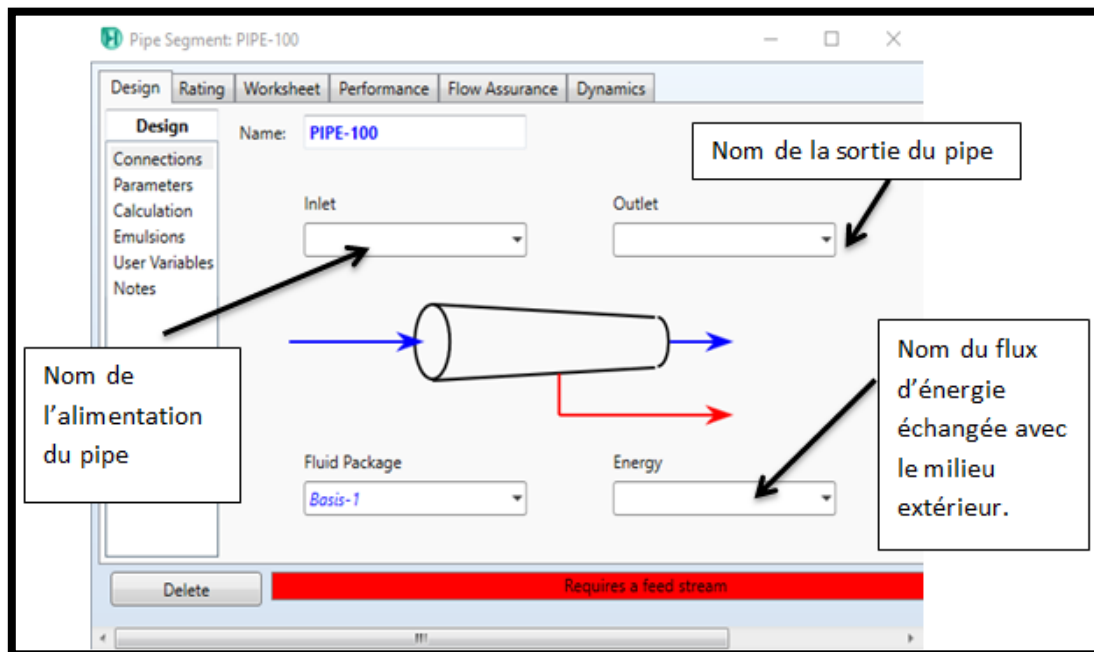


Figure II.17 Schéma de conduit.

Installation d'un segment de pipe

La Figure II.18 représente une conduit sous HYSYS.



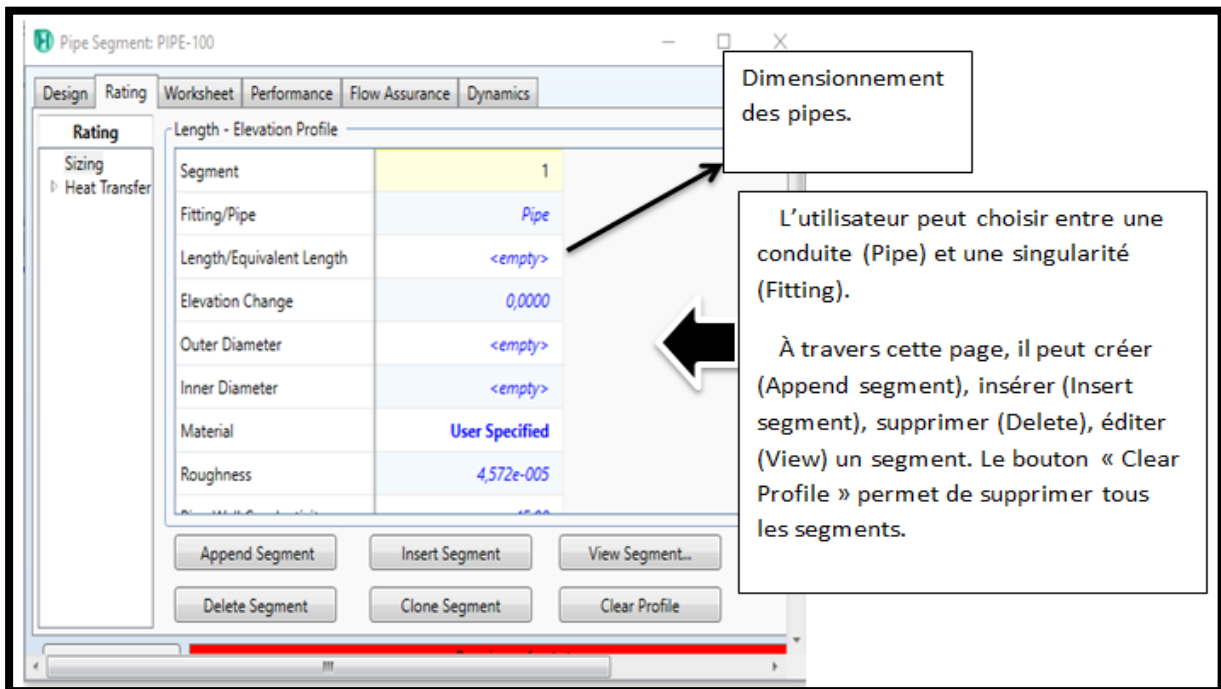
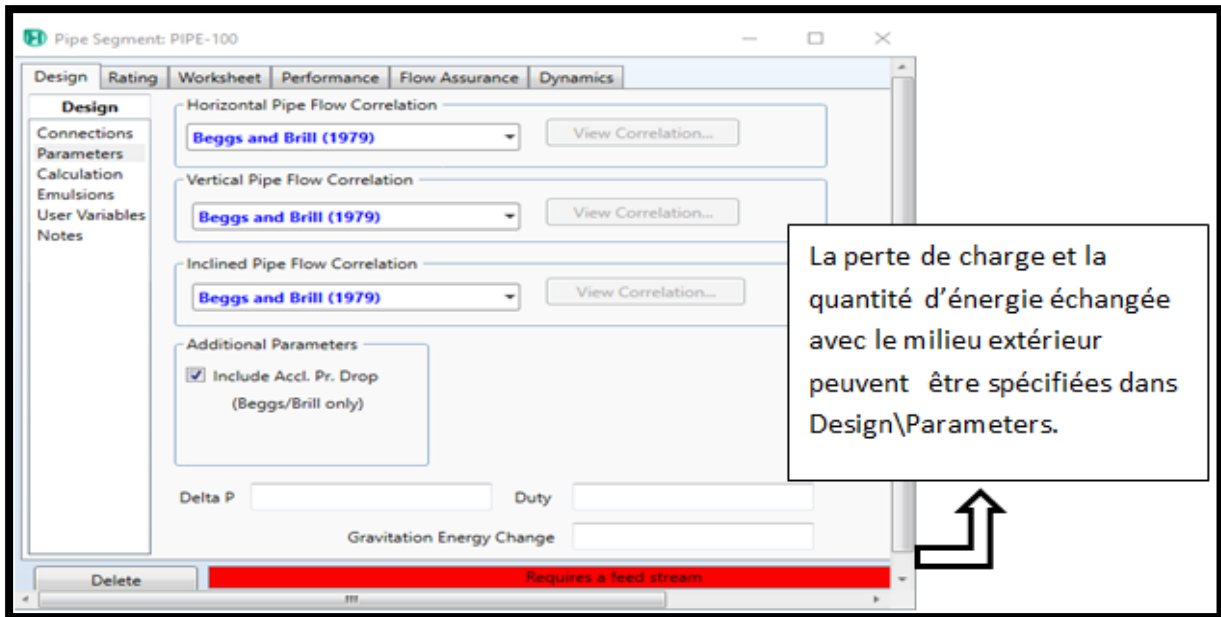
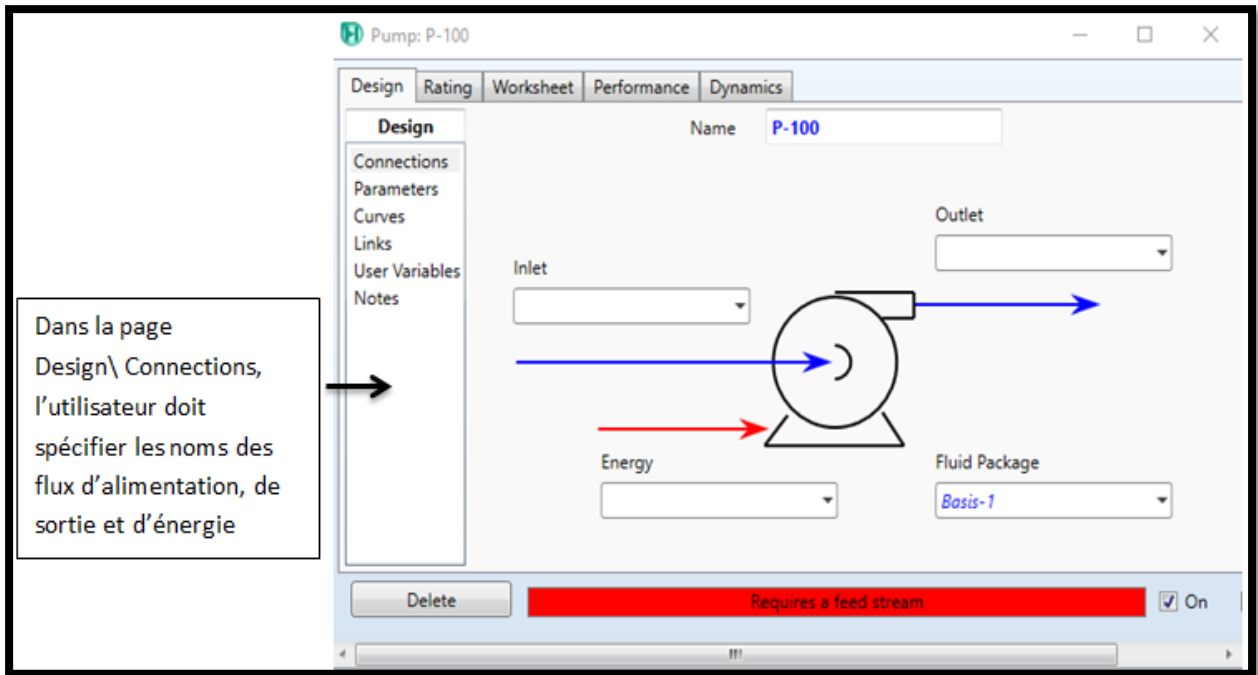


Figure II.18. Conduit sous HYSYS.

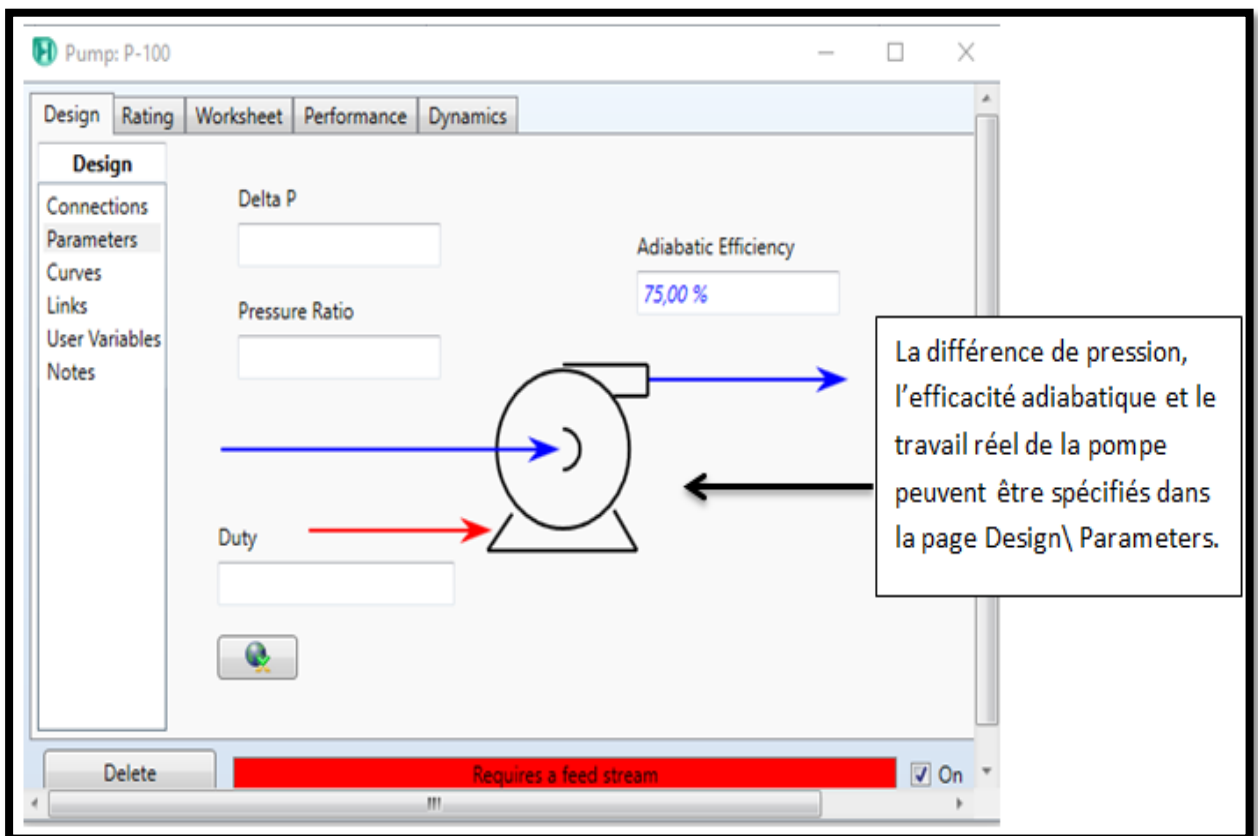
E. PUMP (POMPES)

Installation d'une pompe

La Figure II.19 représente une pompe sous HYSYS.



Dans la page Design\ Connections, l'utilisateur doit spécifier les noms des flux d'alimentation, de sortie et d'énergie



La différence de pression, l'efficacité adiabatique et le travail réel de la pompe peuvent être spécifiés dans la page Design\ Parameters.

Figure II.19. Pompe sous HYSYS.

F. le compresseur

La Figure II.20 représente le schéma d'un compresseur.

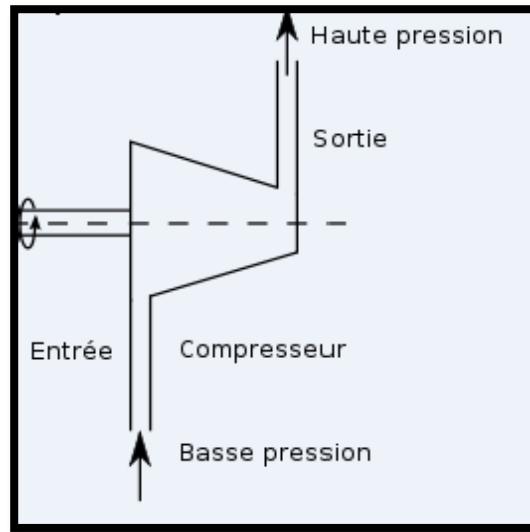


Figure II.20. Schéma d'un compresseur.

Installation d'un compresseur

La figure II.21 représente le compresseur sous HYSYS.

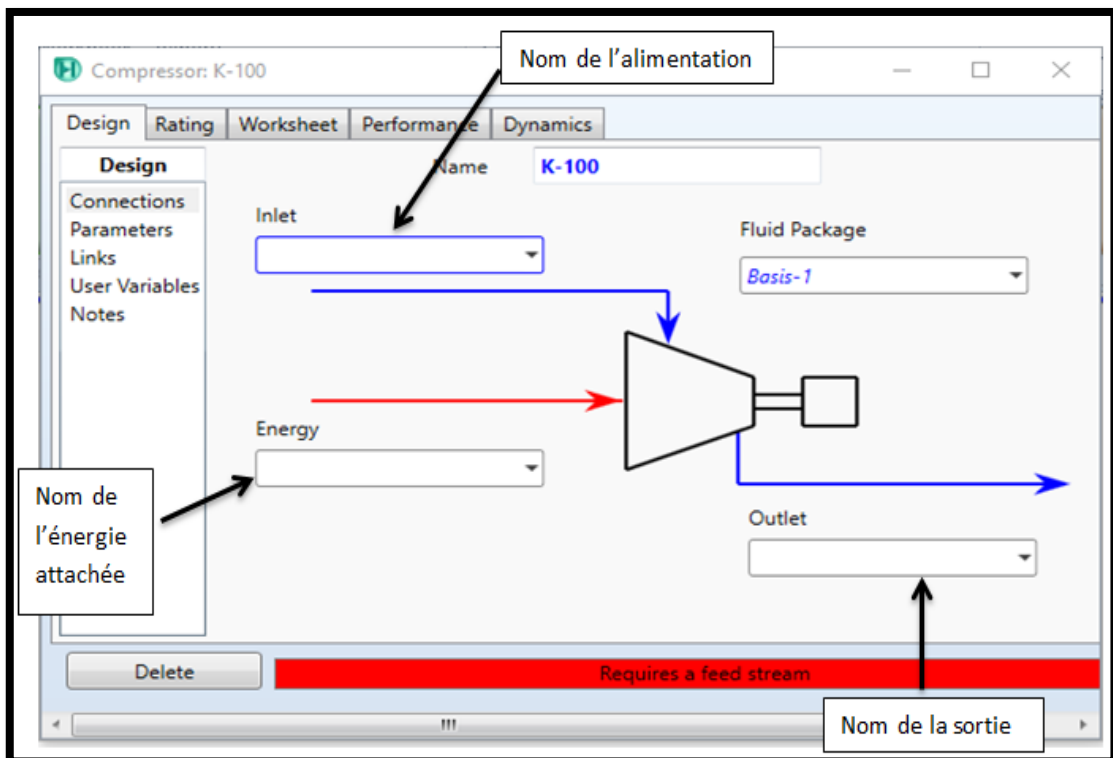


Figure II.21. Compresseur sous HYSYS.

G. Turbine

La Figure II.22 représente le schéma d'une turbine.

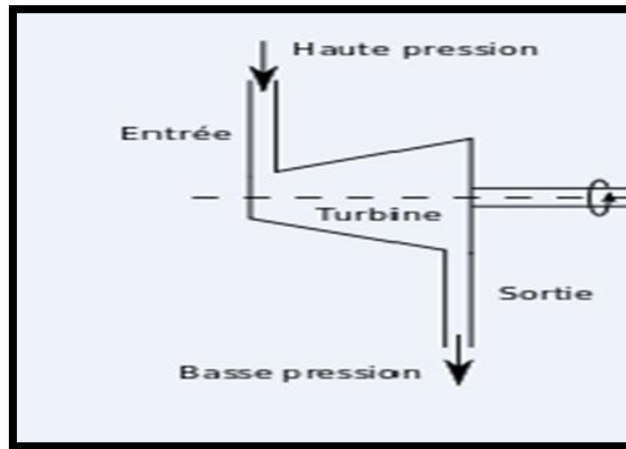


Figure II.22. Schéma d'une turbine.

Installation de la turbine

La figure II.23 représente la turbine sous HYSYS.

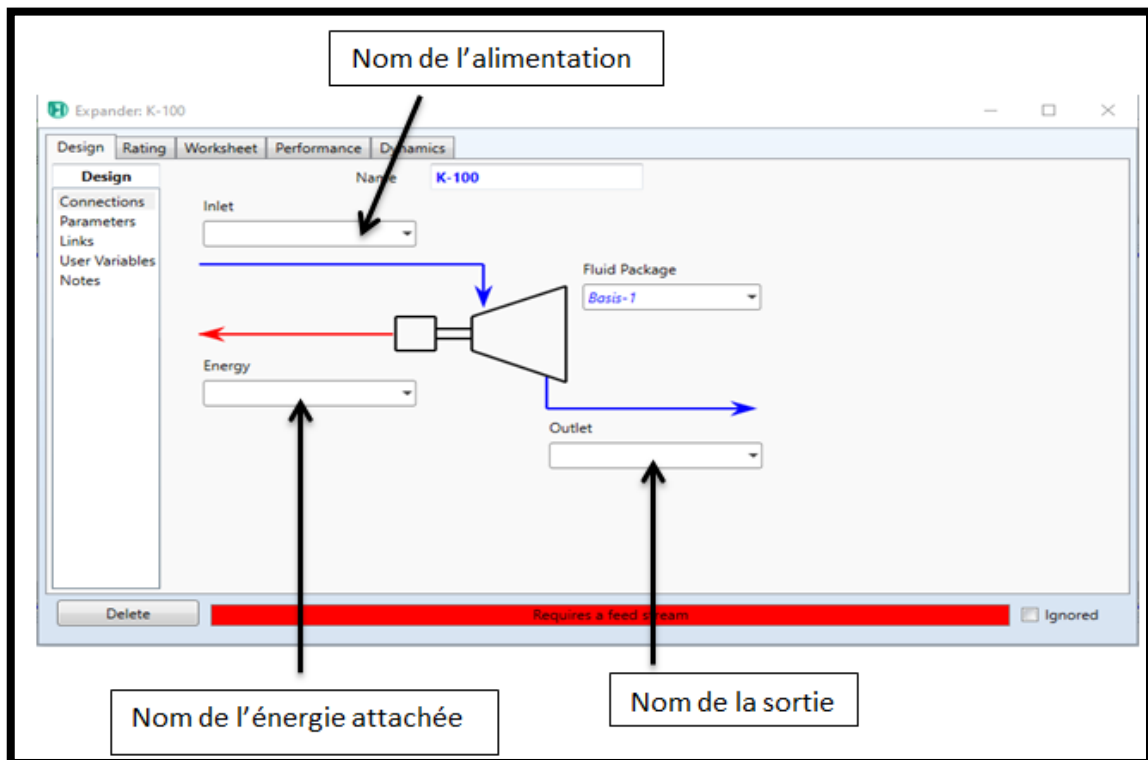


Figure II.23. Turbine sous HYSYS.

H. HEAT TRANSFER EQUIPEMENTS

1. Cooler /Heater

Les deux opérations “Cooler/Heater” sont des échangeurs avec un seul flux de matière. Le flux d’alimentation est refroidi ou chauffé, selon les spécifications de l’utilisateur jusqu’à l’atteinte des conditions de sortie. Ce type d’appareils est employé lorsque l’utilisateur ne s’intéresse qu’à la quantité d’énergie nécessaire pour le refroidissement ou le chauffage de l’alimentation par une utilité.

Installation d’un « Heater / Cooler »

La figure II.24 représente « Heater / Cooler » sous HYSYS.

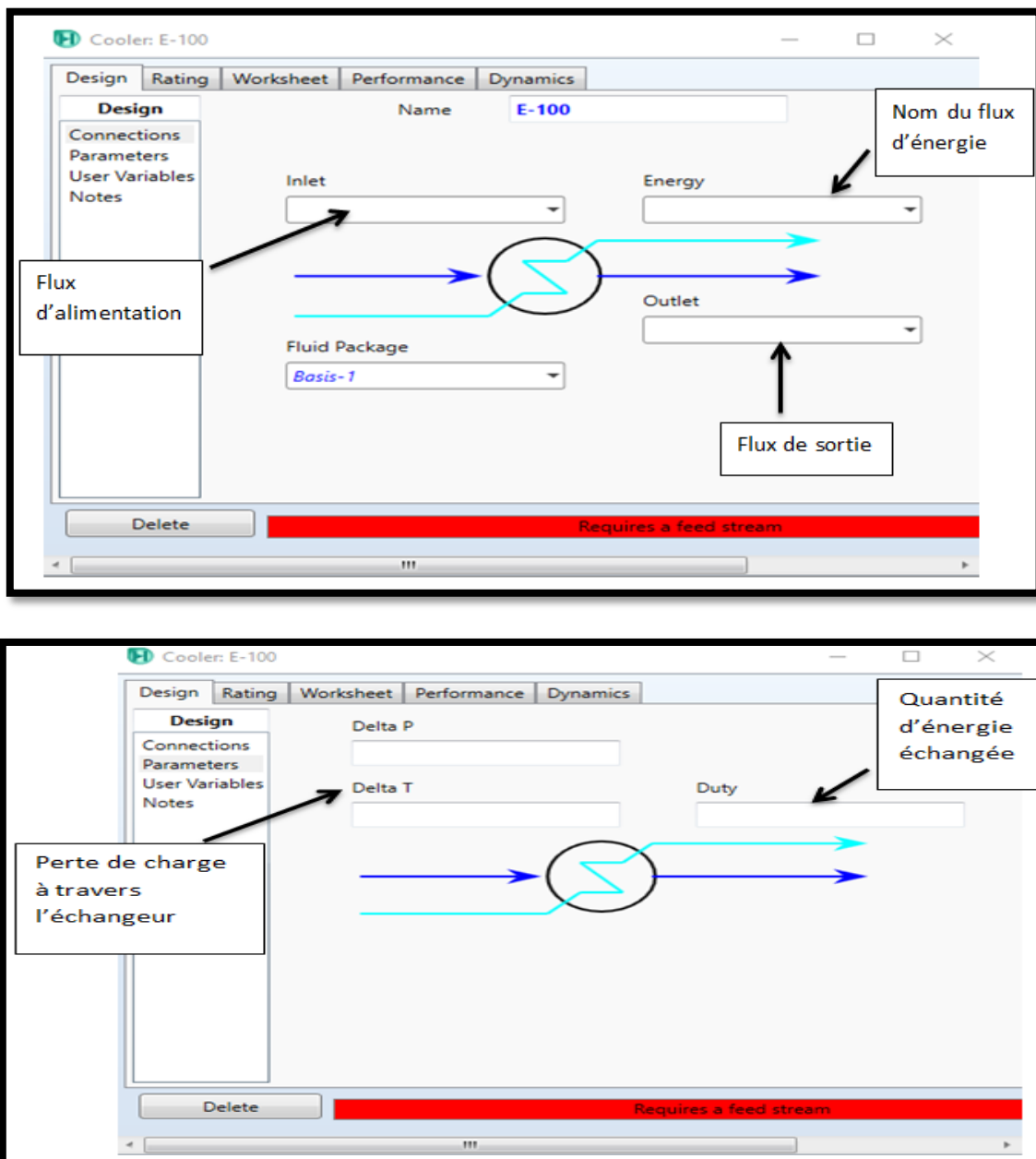


Figure II.24. Heater / Cooler sous HYSYS.

2. Heat exchanger

La Figure II.25 représente le schéma d'un échangeur tube/calandre.

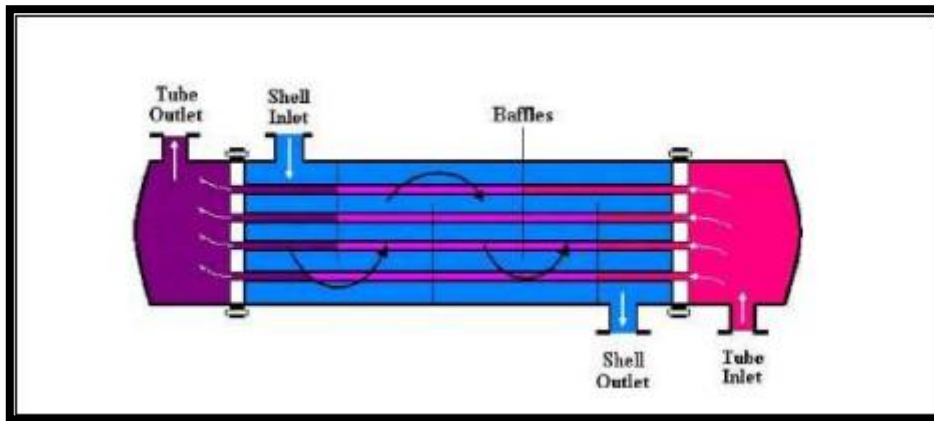


Figure II.25. Schéma d'un échangeur tube/calandre.

Installation d'un échangeur Tube / Calandre (Design\Connection)

La figure II.26 représente d'un échangeur tube/calandre sous HYSYS.

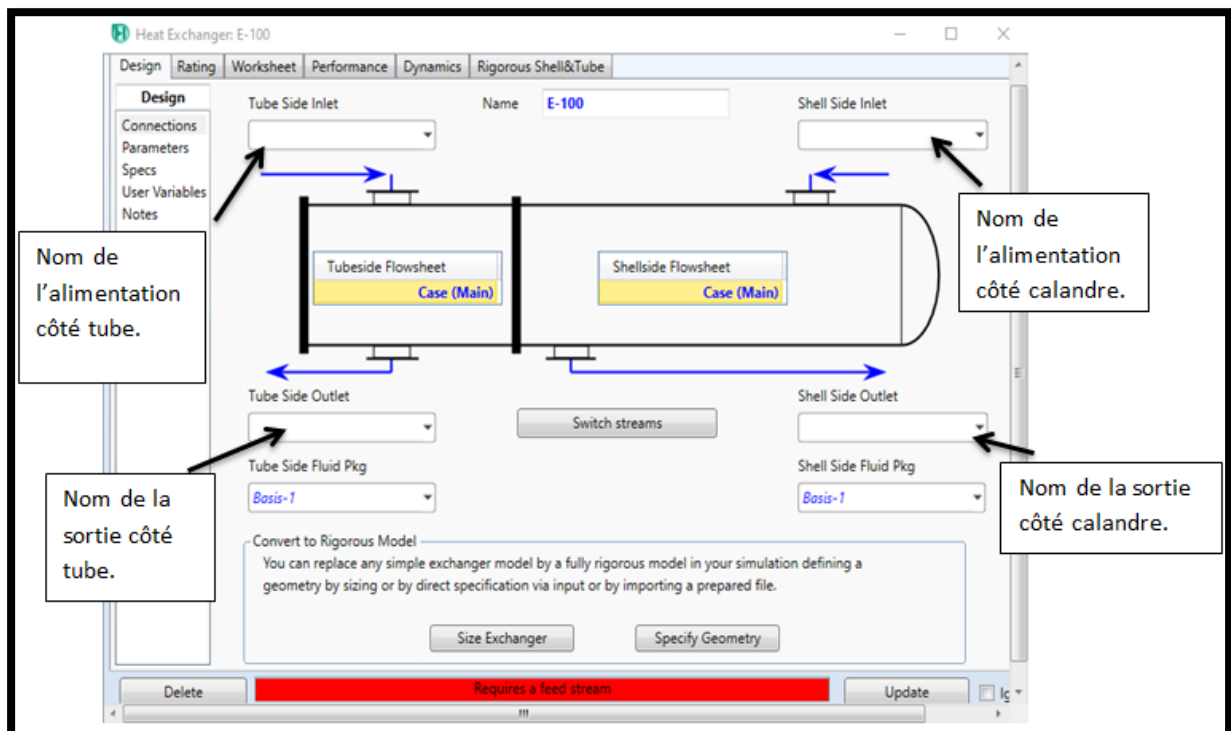


Figure II.26. Echangeur tube/calandre sous HYSYS.

I. Conversion reactore CR-100

La Figure II.27 représente d'un conversion reactor sous HYSYS.

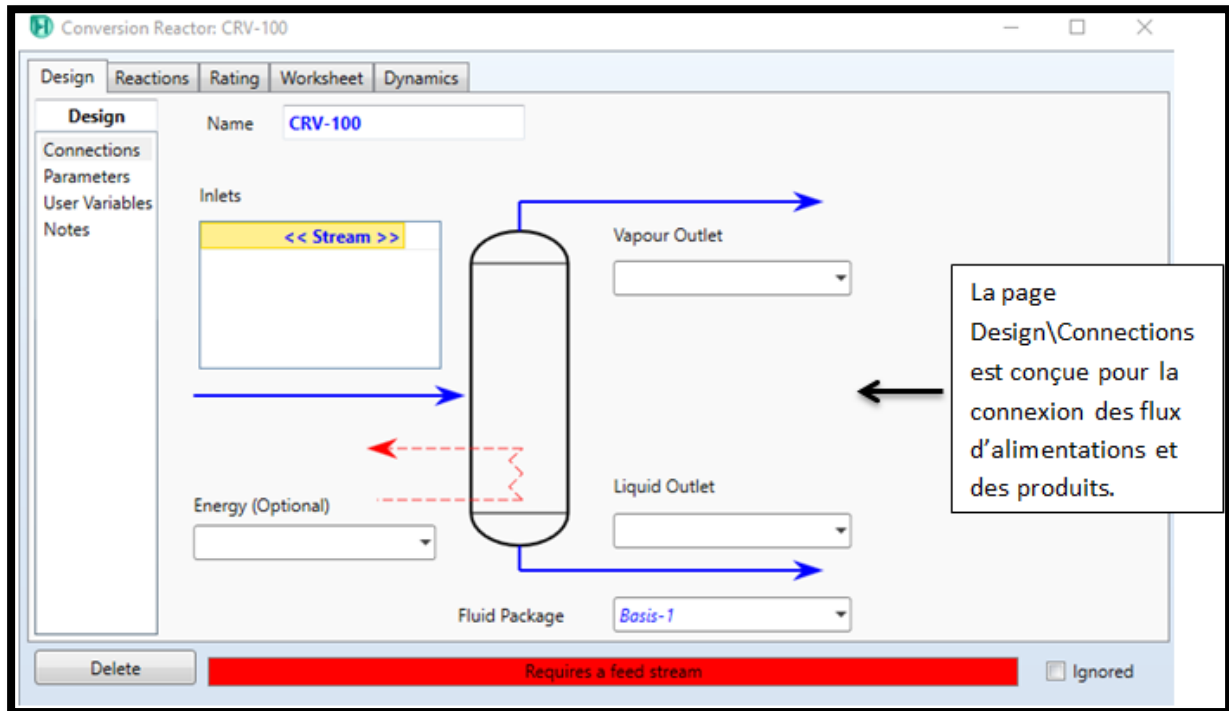


Figure II.27. Conversion reactore sous HYSYS.

II.12 Conclusion

Ce chapitre offre un aperçu de la modélisation et de la simulation des procédés, en expliquant le principe de fonctionnement des simulateurs de procédés et leur rôle dans le domaine de l'ingénierie. De plus, il présente brièvement la méthode utilisée par HYSYS® pour réaliser ces processus.

Chapitre III:
Application du logiciel
HYSYS à la SPE

III. 1 Introduction

Le simulateur HYSYS est considéré parmi l'un des plus performants logiciels de simulation des procédés industriels. Il peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin d'établir son bilan de matière et d'énergie. Il est d'une grande utilité lors de dimensionnement des équipements de procédés industriels ou lors du suivi des procédés déjà installés. Le simulateur HYSYS permet également de déterminer les performances des équipements installés ou à installer.

A travers ce chapitre, on va appliquer le simulateur HYSYS utilisé surtout dans le domaine pétrolier à la station de production d'électricité SPE.

III.2. Simulation de la turbine à gaz de M'Sila

Dans ce qui suit, on va simuler le groupe M'Sila III de 215 MW de puissance dont les caractéristiques sont mentionnées au chapitre I. Ce dernier se compose d'un compresseur axial, d'une chambre de combustion et d'une turbine.

La Figure III.1 présente le schéma simulé par le logiciel HYSYS du groupe M'Sila III.

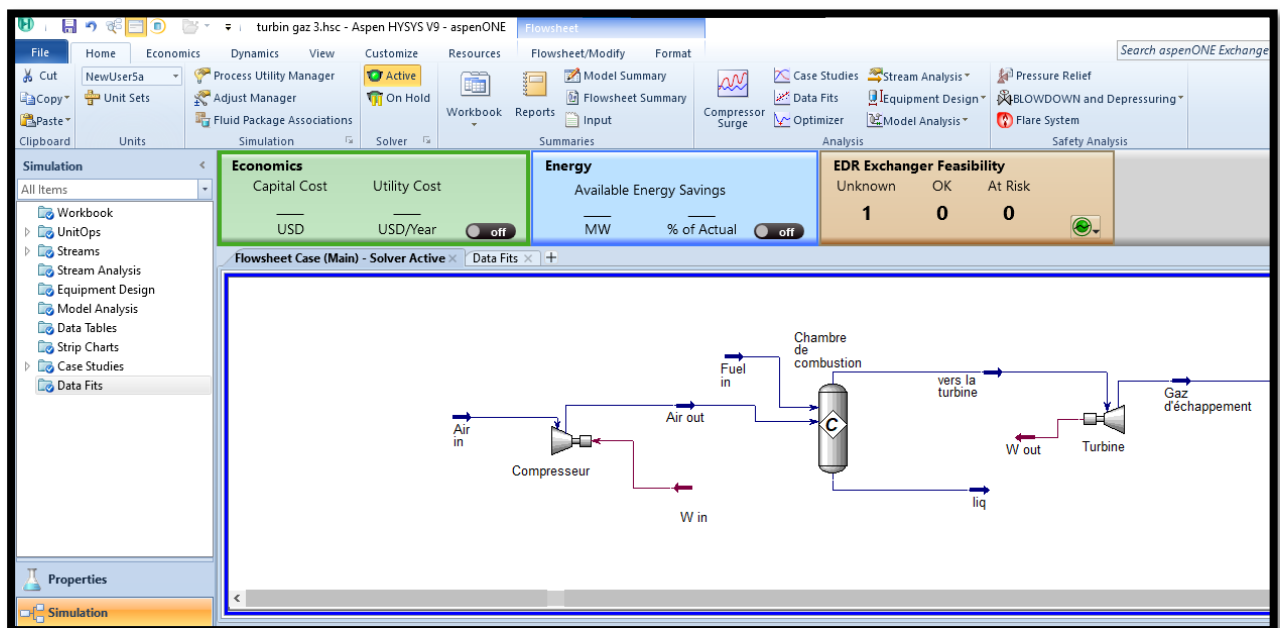


Figure III.1. Schéma de fonctionnement de la turbine à gaz M'Sila III sur HYSYS (PFD).

III.2.1. Compresseur axial

Les compresseurs sont des équipements mécaniques permettant d'élever la pression d'un gaz. Il existe plusieurs variétés de compresseurs, à savoir les compresseurs alternatifs, rotatifs, centrifuges et axiaux (Figure III.2).

Le compresseur axial (Figure III.3) est constitué de plusieurs étages, chacun composé d'un rotor (roue) et d'un stator (aube fixe). Les rotors sont montés sur un arbre commun et tournent

à grande vitesse, tandis que les stators sont fixés dans la carcasse du compresseur. Lorsque l'air passe à travers le compresseur, il est comprimé successivement par chaque étage.

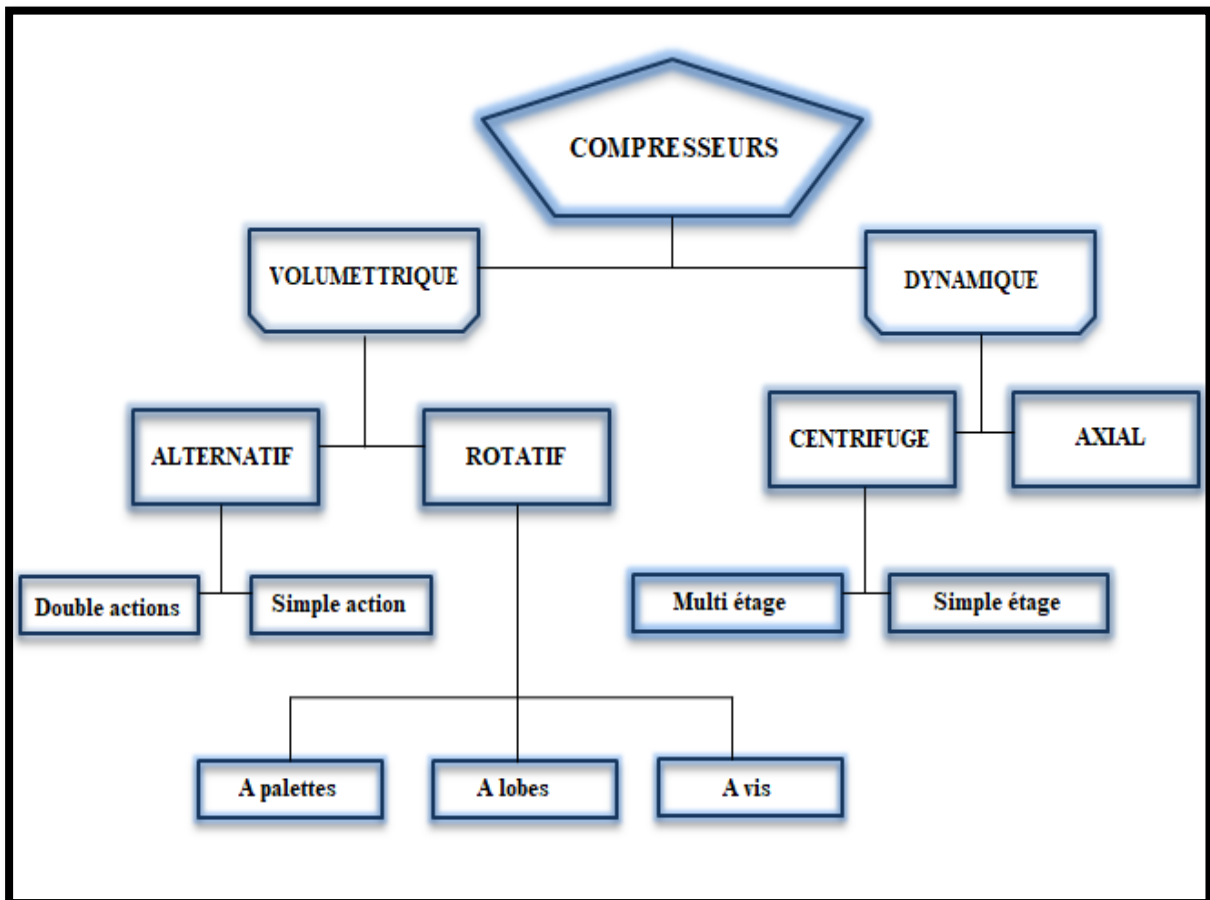


Figure III.2. Catégories principales de compresseurs.

Il convient de noter que les compresseurs axiaux sont également utilisés dans une variété de domaines, telles que l'Industrie de l'énergie, l'Industrie pétrolière et gazière, l'aéronautique, l'Industrie chimique, l'Industrie de la cryogénie, la climatisation, la propulsion marine, les turbines éoliennes, etc. Leur capacité à comprimer l'air ou les gaz de manière efficace et à haut débit en fait d'eux des dispositifs polyvalents dans de nombreux secteurs industriels.

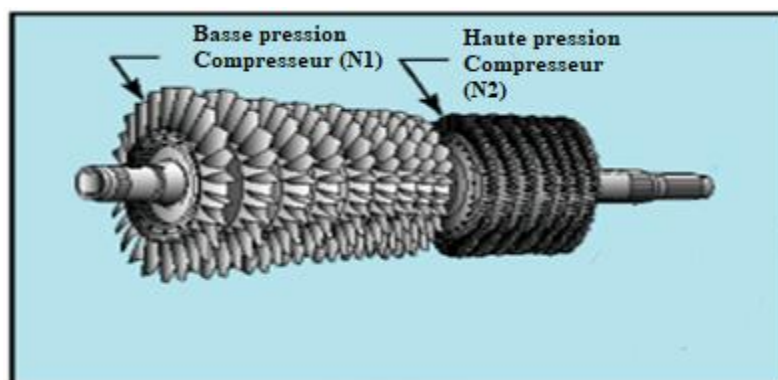


Figure III.3. Compresseur axial.

Les compresseurs axiaux comprennent une mise de fonds et des coûts d'exploitation mois élevés pour des débits dépassant 65 000 l/s et un air de refoulement exempt d'huile. Ces machines sont utilisées pour l'alimentation en air de combustion des turbines à gaz.

III.2.1.1 Simulation du compresseur axial sur HYSYS

L'air atmosphérique détendu par un filtre est comprimé dans le compresseur axiale afin d'augmenter sa pression jusqu' à la pression régnant dans la chambre de combustion. Il est à noter que les paramètres d'entrée de l'air varient au cours de l'année, par exemple, en janvier l'air entre à 13.75 °C et 0.8bar, en août, sa température peut atteindre 34.13 °C à la même pression. La Figure III.4 montre le schéma du compresseur à simuler sous HYSYS.

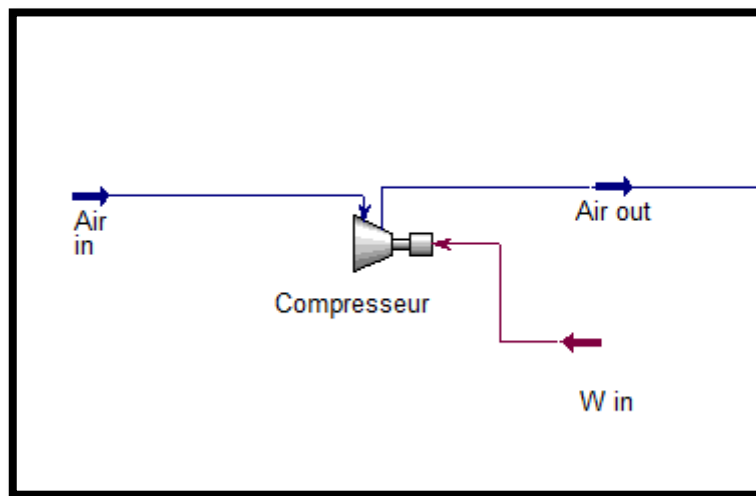
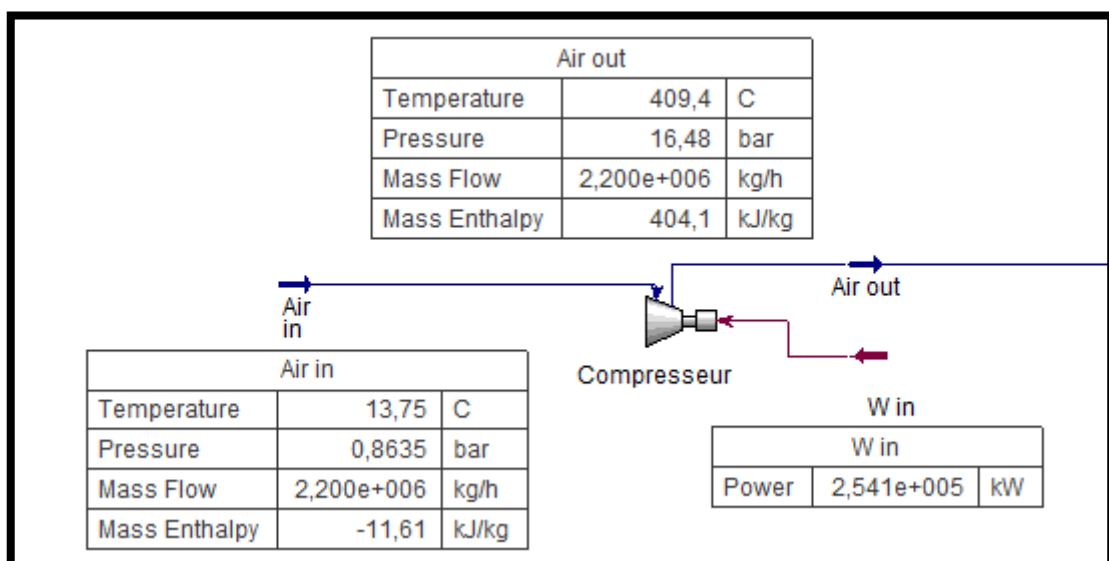
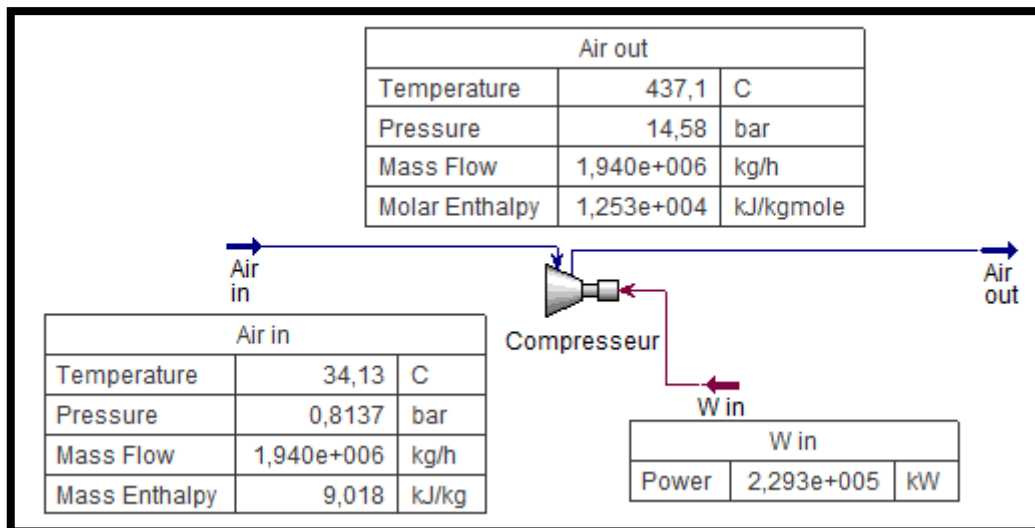


Figure III.4. Schéma du compresseur axial sous HYSYS.

Les paramètres d'entrée introduits selon les données réelles fournies par la centrale SPE et ceux obtenus par le simulateur HYSYS (sortie) sont représentés sur la Figure III.5.



a. Paramètres d'entrée-sortie du compresseur relatif au mois de janvier.



b. Paramètres d'entrée-sortie du compresseur relatif au mois d'août.

Figure III.5. Paramètres d'entrée-sortie du compresseur au mois de janvier et août.

Le compresseur axial a dépensé 254 MW pour élever la température et la pression de l'air de 13.75°C et 0.8635 bars à 409.4°C et 16.48 bars en janvier. Au mois d'août, il a dépensé 229.3 MW pour élever la température et la pression de l'air de 34.13°C et 0.813 bars à 437.097°C et 14.58 bars.

III.2.1.2. Effet de la température d'entrée sur la puissance consommée par le compresseur

D'après la Figure III.6 générée par HYSYS, on constate que la puissance consommée par le compresseur varie en fonction de la température de l'air ambiant, elle décroît en fonction de celle-ci. Autrement dit en hiver, le compresseur consomme plus d'énergie qu'en été. On constate aussi que la puissance réelle consommée est bien estimée par le simulateur HYSYS, puisque la consommation réelle (points en bleu) coïncide avec celle estimée (ligne en vert).

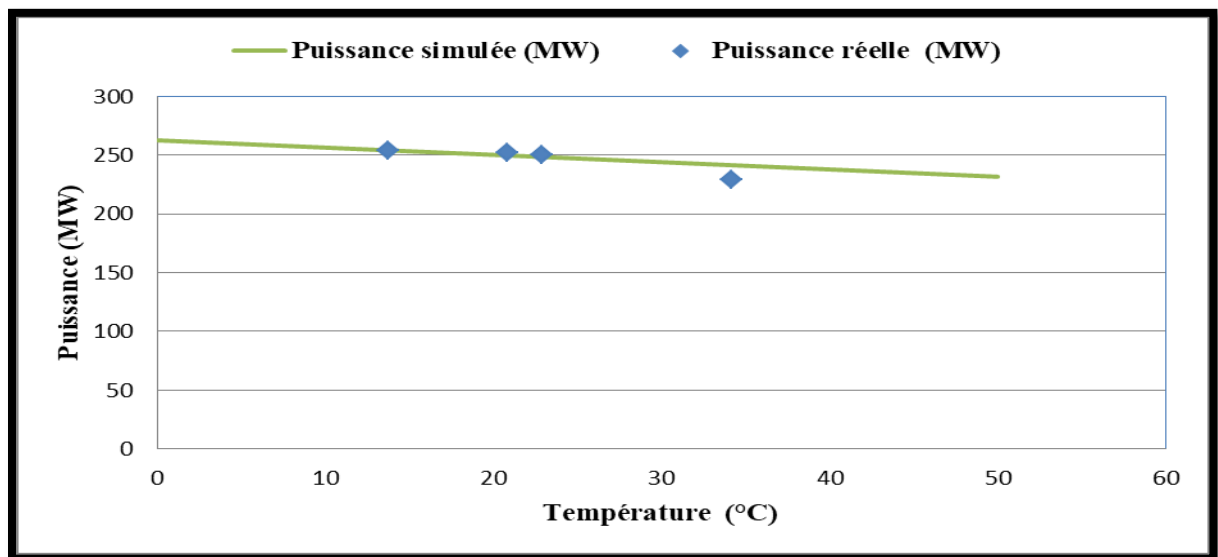


Figure III.6. Effet de la température de l'air à l'entrée du compresseur sur sa puissance.

En réalité, lorsque la température de l'air augmente sa densité diminue ce qui entraîne la diminution de la puissance consommée par le compresseur.

III.2.1.3. Effet de la température de l'air à l'entrée du compresseur sur sa température à la sortie

Le logiciel HYSYS nous a permis aussi de voir l'évolution de la température à la sortie du compresseur T_{out} en fonction de la température à son entrée T_{in} . Comme le montre la Figure III.7 la température à la sortie du compresseur croît avec la température à son entrée. Une autre fois les résultats de la simulation coïncident avec la réalité.

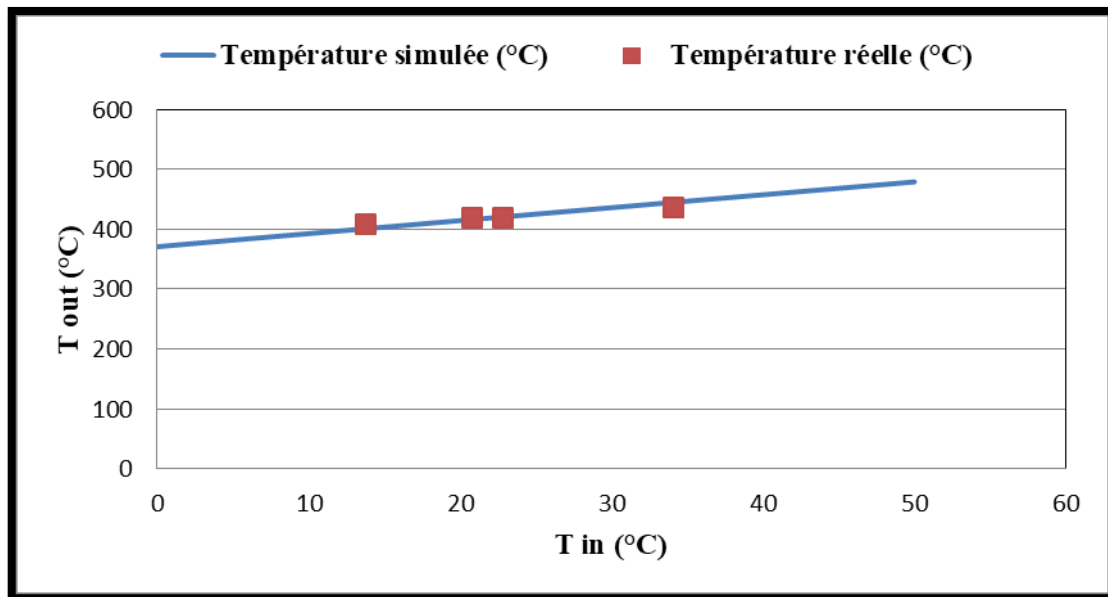


Figure III.7. Effet de la température de l'air à l'entrée du compresseur sur sa température à la sortie.

III.2.1.4. Effet Débit massique d'air admis sur la puissance du compresseur

D'après la Figure III.6 générée par HYSYS, on constate que la puissance consommée par le compresseur varie en fonction de débit massique d'air admis. En effet, la puissance du compresseur croît avec la masse à comprimer (débit admis). A titre d'exemple, en janvier la puissance du compresseur était de 254.1 MW pour un débit d'air de 611.1 kg/s. En aout, lorsque le débit d'air a diminué, la puissance a diminué aussi (229.3 MW pour débit d'air 538,89 kg/s).

On constate aussi que la puissance réelle consommée est bien estimée par le simulateur HYSYS, puisque la consommation réelle (points en rouge) coïncide avec celle estimée (ligne en bleu).

III.2.1.5. Effet du rendement du compresseur sur sa puissance

Sur la Figure III.9, on a porté l'évolution de la puissance du compresseur en fonction de son rendement isentropique. Il est clair d'après cette figure, qu'à chaque fois qu'on s'éloigne du rendement isentropique, le compresseur consomme plus d'énergie et vice versa dû aux phénomènes irréversibles. A titre d'exemple, pour un rendement isentropique de 100%, le

compresseur a consommé 212 MW, par contre, il a consommé 1058 MW Pour un rendement de 20%.

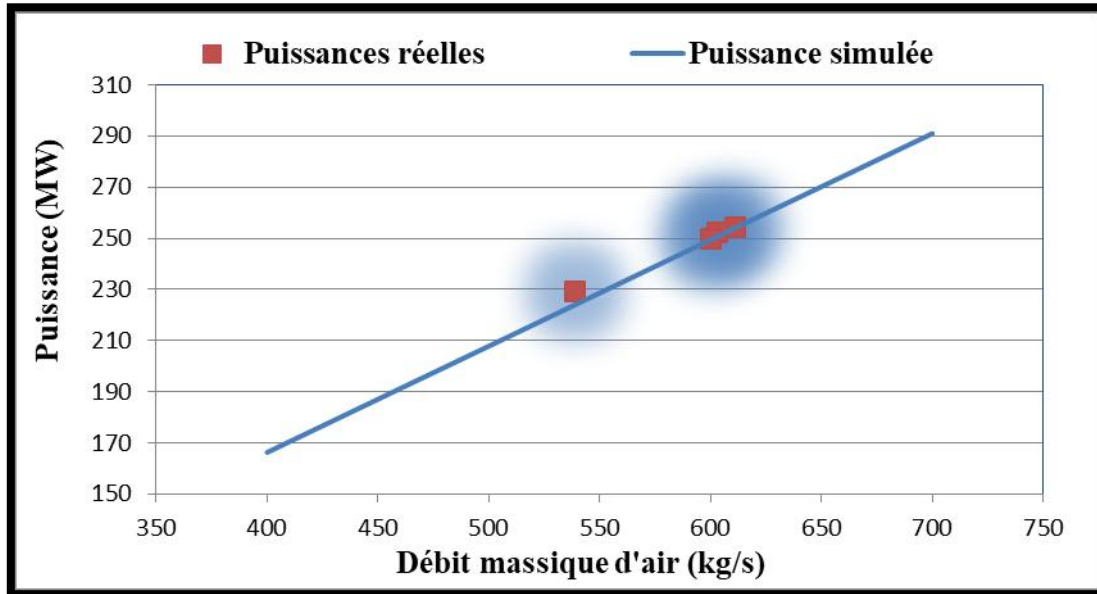


Figure III.8. Effet Débit massique d'air admis sur la puissance du compresseur.

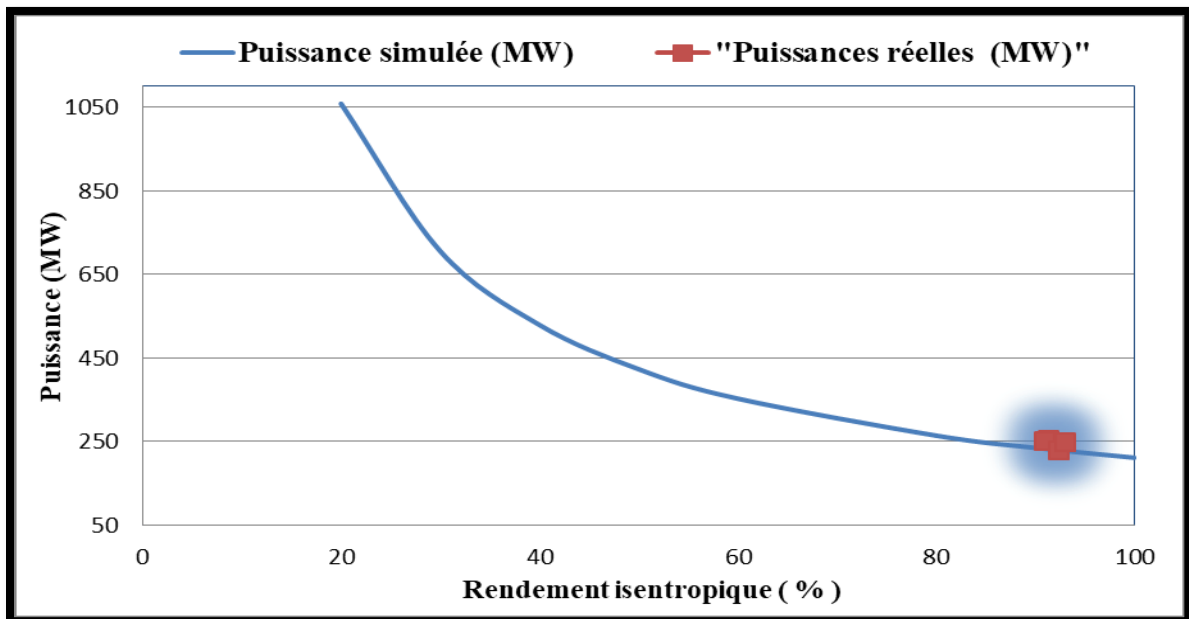


Figure III.9. Effet de rendement du compresseur sur sa puissance.

III.2.1.6. Diagramme T-S du compresseur axial

La Figure III.10 représente l'évolution de la température de l'air comprimée en fonction de l'entropie pour différents rendements isentropiques. On remarque qu'à partir de la même température à l'entrée du compresseur, la température à sa sortie varie en fonction de son rendement isentropique. La température à la sortie du compresseur décroît en fonction du rendement. A titre d'exemple pour un rendement de 50% la température à la sortie du

compresseur est de 757.1 °C, elle est de 407.40 °C pour une compression isentropique. Cette élévation est due aux pertes sous forme de chaleur (élévation d'entropie).

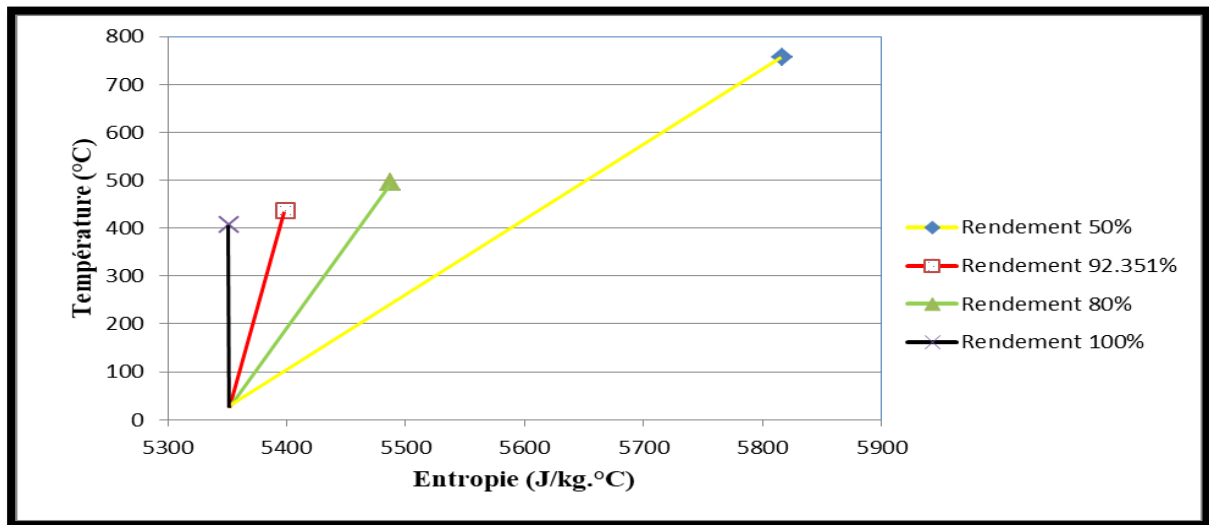


Figure III.10. Diagramme T-S du compresseur axial.

III.2.2. Simulation de la Chambre de combustion

La chambre de combustion d'une turbine à gaz est une composante essentielle de ce type de moteur. Elle est responsable de la combustion du carburant et de l'air pour produire la force motrice qui entraîne la rotation de la turbine. Cette dernière est conçue pour mélanger le carburant (généralement du gaz naturel, du kérosène ou du Mazout) avec de l'air ambiant dans des proportions précises (Figure III.11)

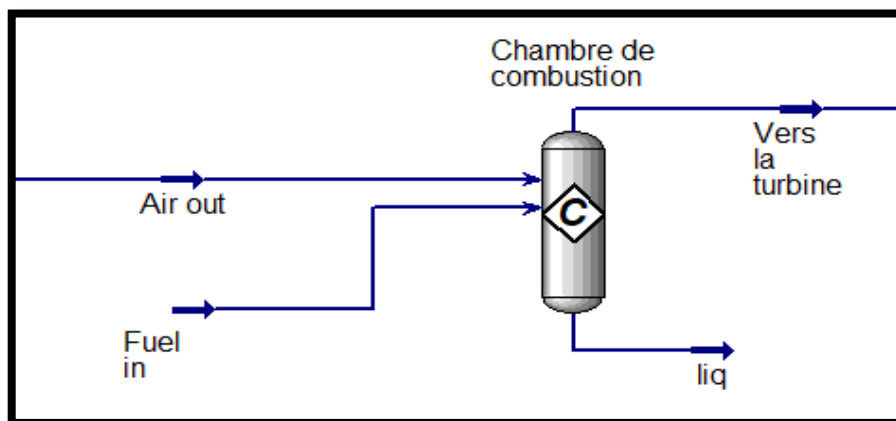


Figure III.11. Chambre de combustion sous HYSYS.

Le mélange air-carburant est ensuite enflammé pour créer une réaction chimique exothermique appelée combustion. Cette réaction génère une grande quantité de chaleur accompagnée d'une température très élevée des gaz brûlés.

La Figure.III.12 représente les résultats de la simulation de la chambre de combustion sous HYSYS. Le fuel utilisé par le groupe M'sila III pour produire d'électricité est composé principalement du méthane comme le montre le Tableau III.1.

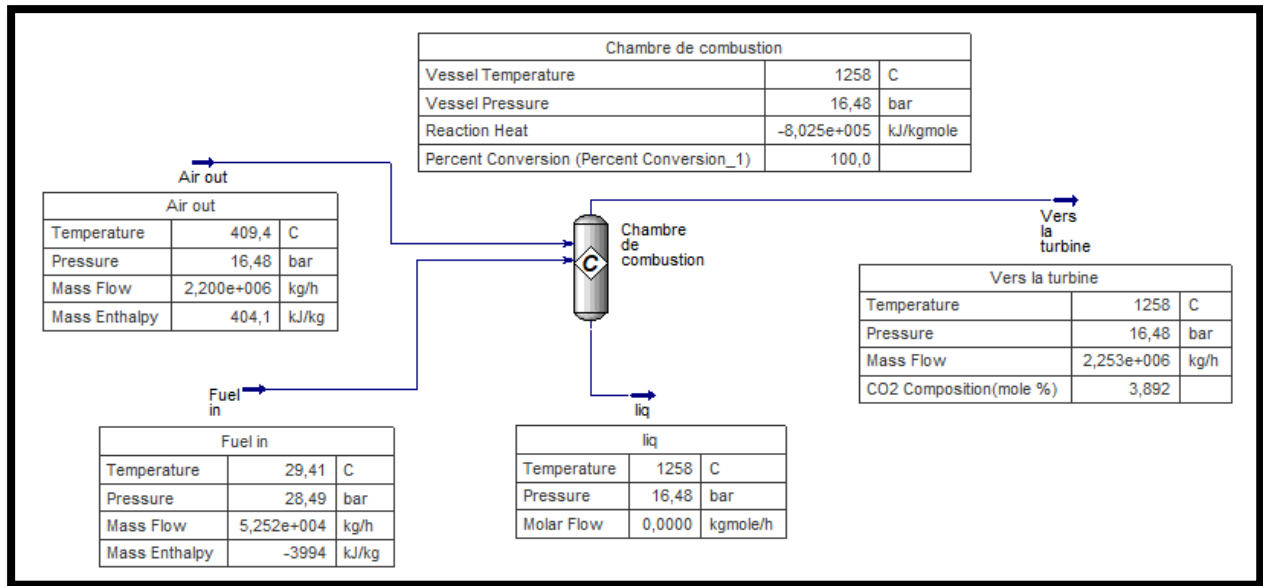


Figure III.12. Paramètres d’entrée-sortie de la chambre de combustion au mois de janvier.

Tableau III.1 Composition molaire de fuel utilisé par M’sila III.

Composition molaire (%)						
CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁	nC ₄ H	CO ₂	N ₂
			0	10		
85.02	7.6	1.77	0.28	0.54	0.16	4.63

D’après la Figure III.12, on voit que la réaction de combustion du fuel dans la chambre de combustion est une réaction exothermique qui se fait à pression constante (la même pression de refoulement du compresseur). La température des produits de combustion qui sont l’état vapeur est importante, elle est de l’ordre de 1258°C au mois de janvier.

III .2.2.1 Effet du rendement de la combustion sur la température à la sortie de la chambre combustion

La Figure III.13 représente la variation de la température des produits de combustion pour différents taux de conversion.

D’après la Figure III.13 le rendement de combustion influe sur la température des produits de combustion. En effet, la température à la sortie de la chambre de combustion croît en fonction du rendement de la combustion. Lorsque la combustion est complète ($\eta=100\%$), la température des produits de combustion est maximale. Le Tableau III.2 illustre des exemples numériques (par chiffre) de l’effet du taux de conversion sur la température à la sortie de la chambre de combustion. En fait le rendement de combustion concerne chaque composant du fuel, le méthane qui est le composant principale du fuel utilisé (85%), a plus d’effet que les autres composants (Tableau III.1 ; Tableau III.2, Figure III.13).

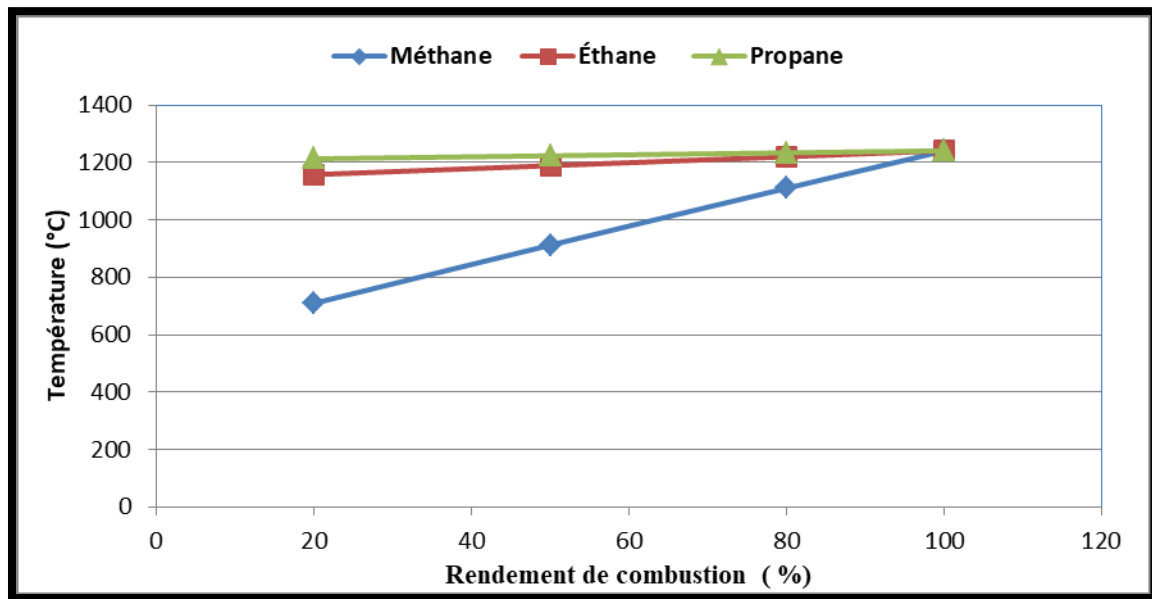


Figure III.13 Effet du rendement de la combustion sur la température de produit de combustion.

Tableau III.2 Exemple de calcul de l'effet du taux de conversion sur la température.

Taux de conversion η %	Fuel	T (°C)
20	CH ₄	709,71
100	C ₂ H ₆	
100	C ₃ H ₈	
100	CH ₄	1241
100	C ₂ H ₆	
100	C ₃ H ₈	

III .2.2.2 Effet du débit massique d'air sur la quantité de CO₂ produite

La quantité de CO₂ produite lors de la combustion du fuel dans la chambre de combustion en fonction du débit d'air pour différents débits du fuel est présentée sur la Figure III.14. On observe que la quantité de CO₂ émise croît avec le débit du fuel qui contient des atomes de carbone et décroît avec le débit d'air (dû à la concentration du CO₂ en présence d'excès d'air).

III .2.2.3 Effet du débit massique d'air sur la température des produits de combustion

La Figure III.15 illustre l'effet qu'exercent le carburant et le comburant sur la température des produits de combustion. On constate que la quantité de CO₂ émise et la température des produits de combustion subissent le même sort sous l'effet du débit d'air et du fuel. En

d'autres termes, la température à sortie de la chambre de combustion croît avec le débit du fuel qui contient des atomes de carbone à bruler et décroît avec le débit d'air (jouant le rôle de rafraichissant en absorbant une partie de la chaleur dégagée).

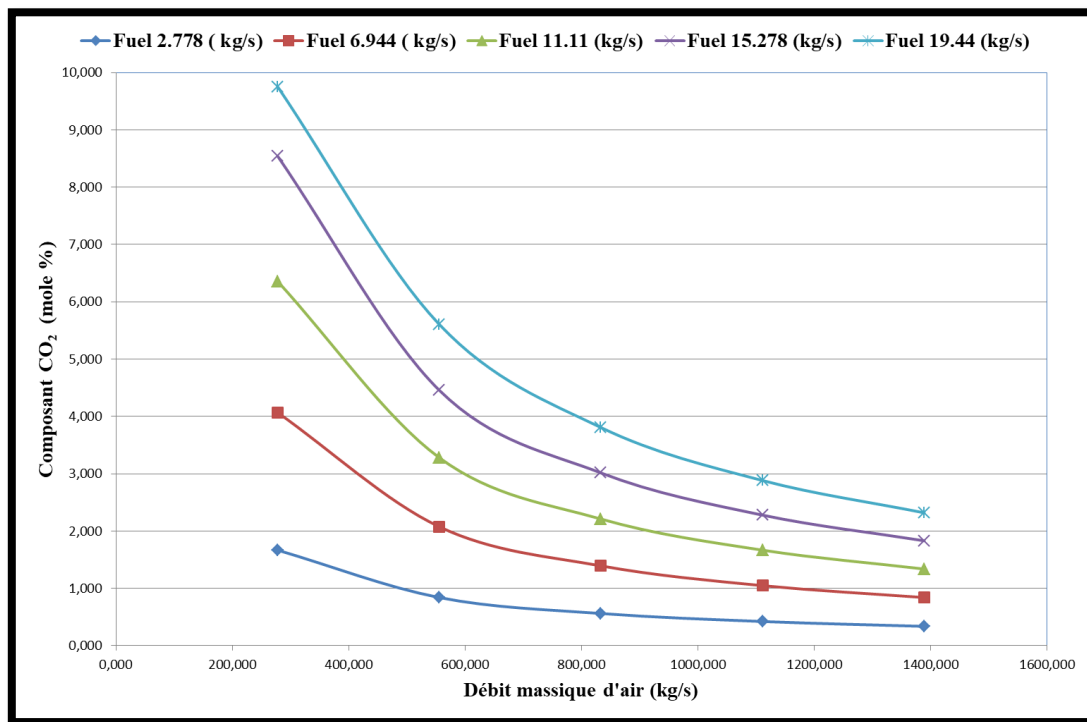


Figure III.14. Effet du débit massique d'air sur les émissions CO₂ pour différents débits de fuel.

Remarque :

En présence d'un manque d'air, à l'inverse du cas précédent, la température des produits de combustion décroît avec l'augmentation du débit de fuel (combustion incomplète). Cette remarque reste valable pour la quantité de CO₂ émise (Figure III.16).

III.2.2.4 Effet du rapport F=masse d'air/ masse du fuel sur la température des produits de la combustion

L'effet de la variation du rapport F sur la température des produits de combustion est porté sur la Figure III.17. Il est à noter que ce rapport varie de]16.33, 500], il ne concerne que la combustion en présence d'excès d'air. D'après cette Figure, on voit que la température des produits de combustion décroît en fonction du rapport F suivant l'équation suivante :

$$T = 7337.6 * F^{-0.468} \tag{III.1}$$

Cette corrélation décrit bien l'évolution de la température à la sortie de la chambre de combustion en fonction du rapport F, puisque le coefficient de corrélation (R²) est de 0.97.

D'après les données récoltées à la SPE, M'sila III fonctionne avec un rapport F (masse d'air/masse du fuel) de l'ordre de 42.1 et la température a la sortie de la chambre de combustion est en moyenne égale à 1264.25°C. Ces données réelles sont présentées aussi sur la Figure III.17 (Point coloré en bleu).

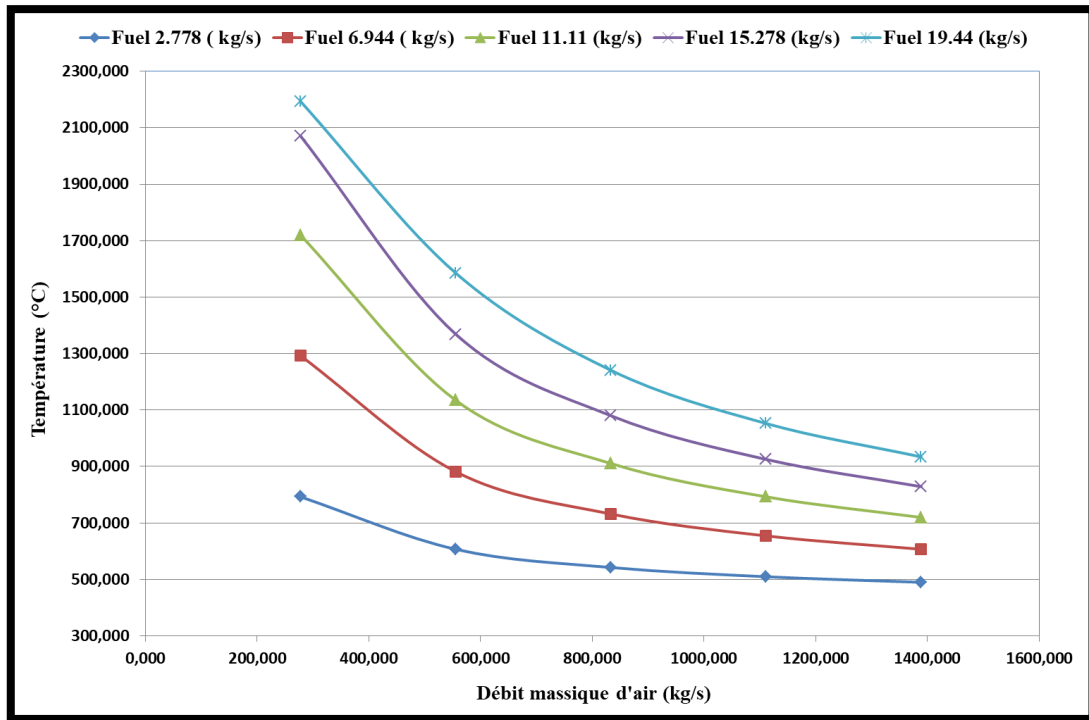


Figure III.15. Effet du débit massique d'air sur la température des produits de combustion pour différents débits de fuel.

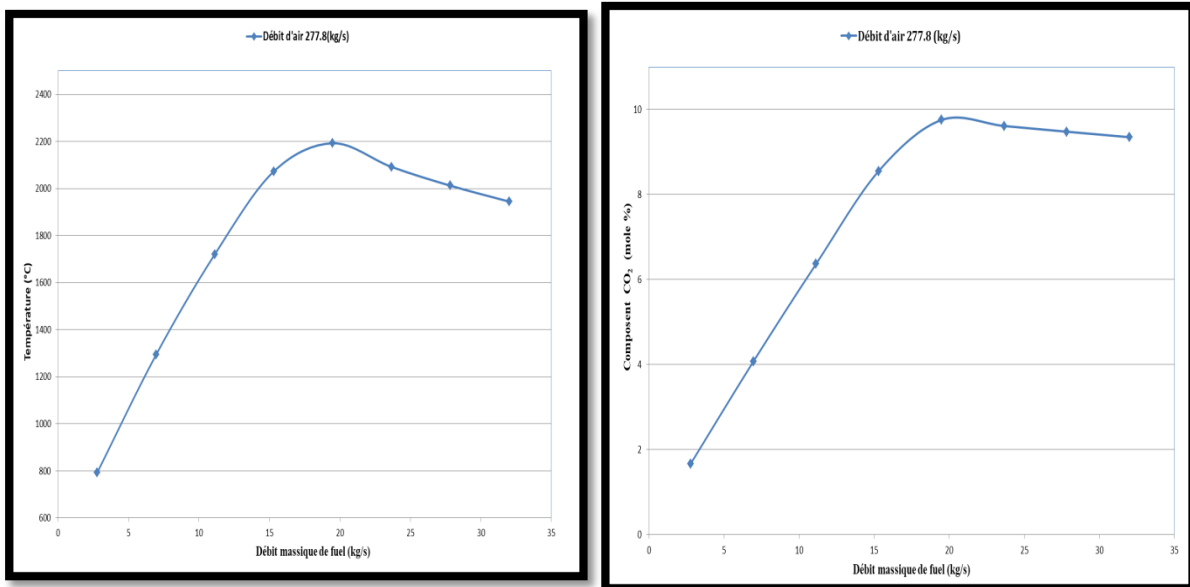


Figure III.16. Effet du débit massique du fuel sur la température des produits de combustion et les émissions en CO₂ en présence d'un manque d'air.

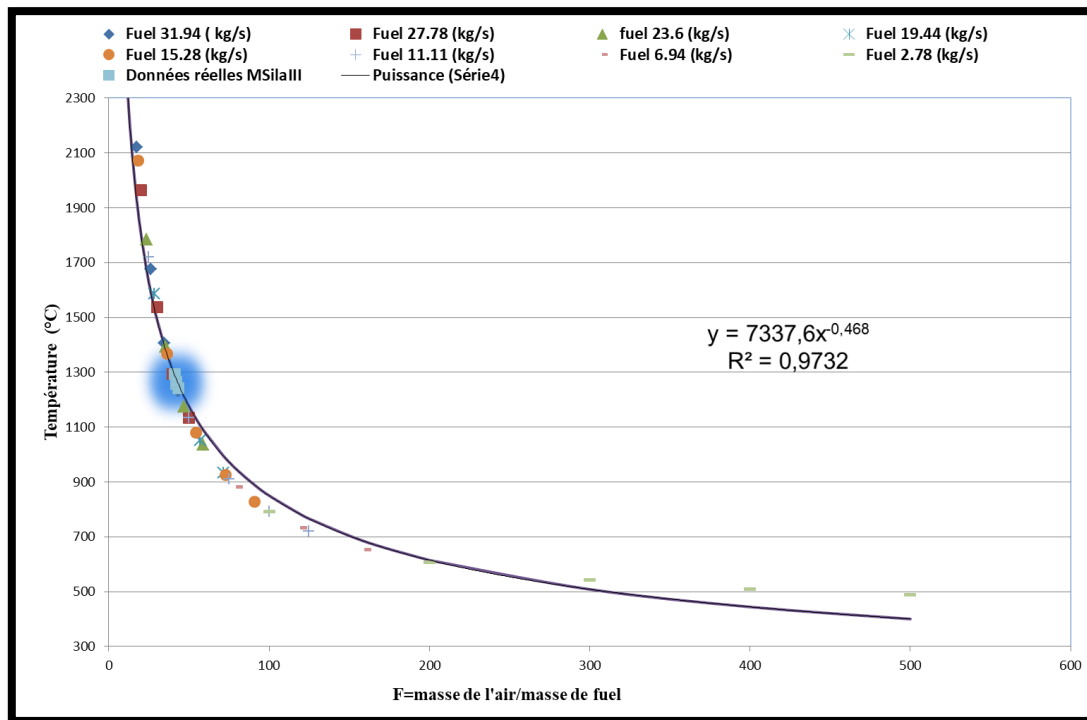


Figure III.17. Effet du rapport F sur la température des produits de combustion.

III.2.2.5 Effet du rapport F=masse d'air/ masse du fuel sur les émissions CO₂.

L'effet de la variation du rapport F sur les émissions CO₂ est porté sur la Figure III.18. Il est à noter que ce rapport varie de]16.33, 500], il concerne que la combustion en présence d'excès d'air.

D'après la Figure III.18, on voit que les émissions CO₂ décroît en fonction du rapport F suivant l'équation suivante:

$$\text{CO}_2 (\% \text{ mole}) = 143.76 * F^{-0.968} \quad (\text{III.2})$$

Cette corrélation décrit bien l'évolution des émissions CO₂ à la sortie de la chambre de combustion en fonction du rapport F, puisque le coefficient de corrélation (R) est important (R²=0.999).

D'après les données récoltées à la SPE, le pourcentage molaire de CO₂ rejeté dans l'atmosphère par M'sila III est de l'ordre de 3.876 % en moles des produits de combustion. Ces données réelles sont présentées aussi sur la Figure III.18 (Point coloré en rouge)

D'après les calculs faits, Msila III fonctionne en moyenne avec un excès d'air estimé à 158% en masse.

III.2.2.6 Effet de la température de l'air et du fuel sur la température des produits de combustion

L'effet de la température de l'air et du fuel sur la température des produits de combustion est porté sur la Figure III.19. D'après cette figure, on constate que la température de l'air à l'entrée de la chambre de combustion affecte la température des produits de combustion, alors que la température du fuel exerce un effet négligeable. A titre d'exemple, lorsque la température du fuel varie de 25 °C jusqu' à 40 °C, la température des produits de combustion n a changé que de 0.5 %.

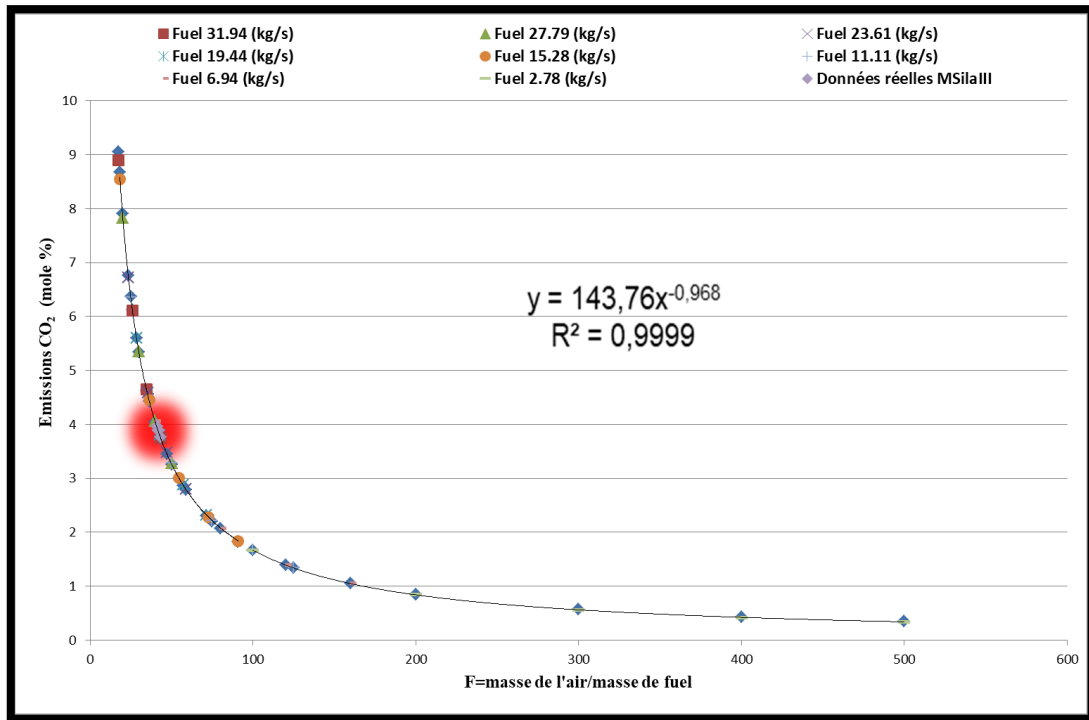


Figure III.18. Effet de rapport F sur les émissions CO₂.

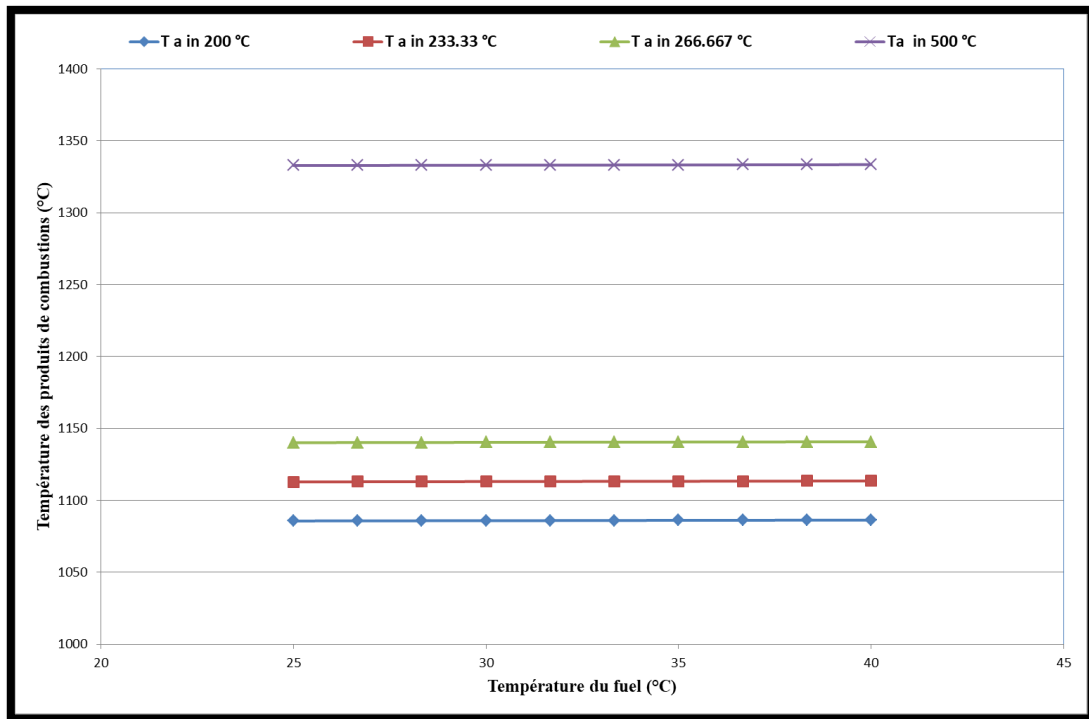


Figure III.19. Effet de la température de l'air et du fuel sur la température des produits de combustion.

III.2.3. Simulation de la turbine

La turbine est l'élément clé de la turbine à gaz. Elle se compose de rangées de pales fixées à un rotor. Lorsque les gaz chauds provenant de la chambre de combustion passent à travers les pales de la turbine, ils lui transfèrent leur énergie, ce qui la fait tourner (la turbine).

Le Rôle de la turbine est de détendre les gaz de combustion de la haute pression vers la basse pression, en produisant du travail.

III.2.3.1 Simulation de la turbine sur HYSYS

Après la combustion, les gaz résultants entrent dans la turbine, où se produit leur expansion qui est suivie d'une chute de pression et de température. Il est à noter que les paramètres d'entrée des produits de combustion varient peu au cours de l'année (fonctionnement en régime permanent). A titre exemple, en janvier les produits de combustion entrent à 1258 °C et à 16.48 bars, en août leur température varie de 2.8% et leur pression de 11.46 %. La Figure III.20 montre le schéma de la turbine simulé sous HYSYS.

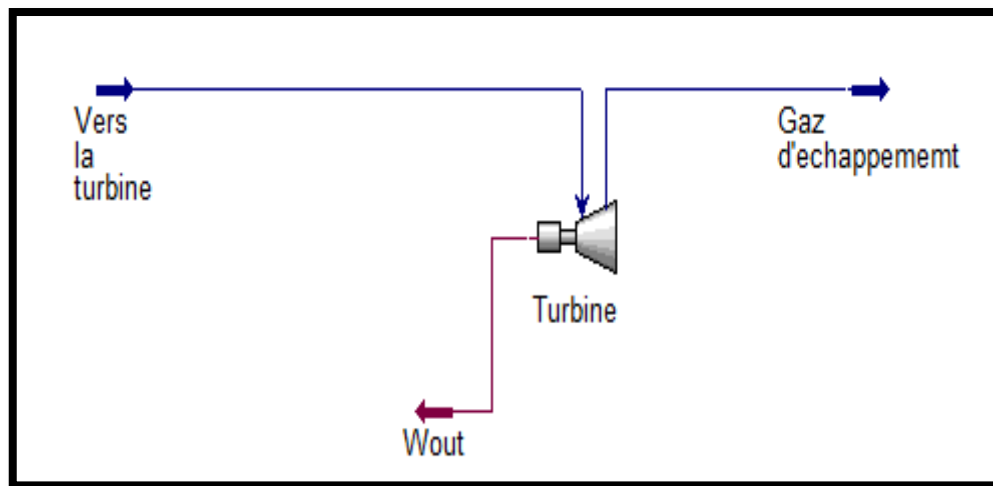
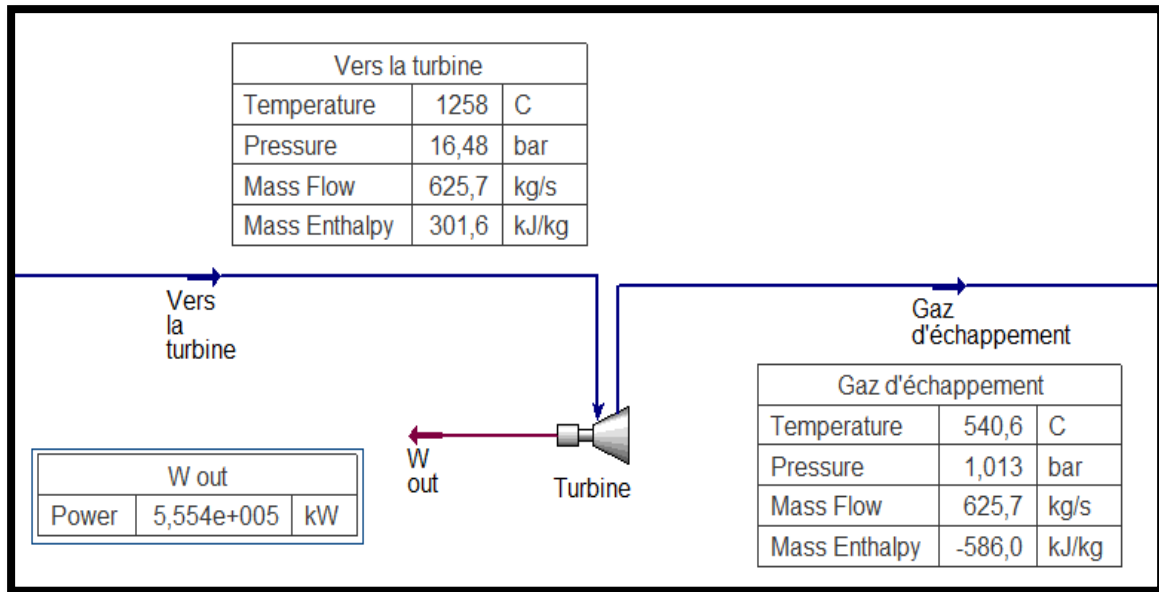


Figure III.20. Schéma de la turbine sous HYSYS.

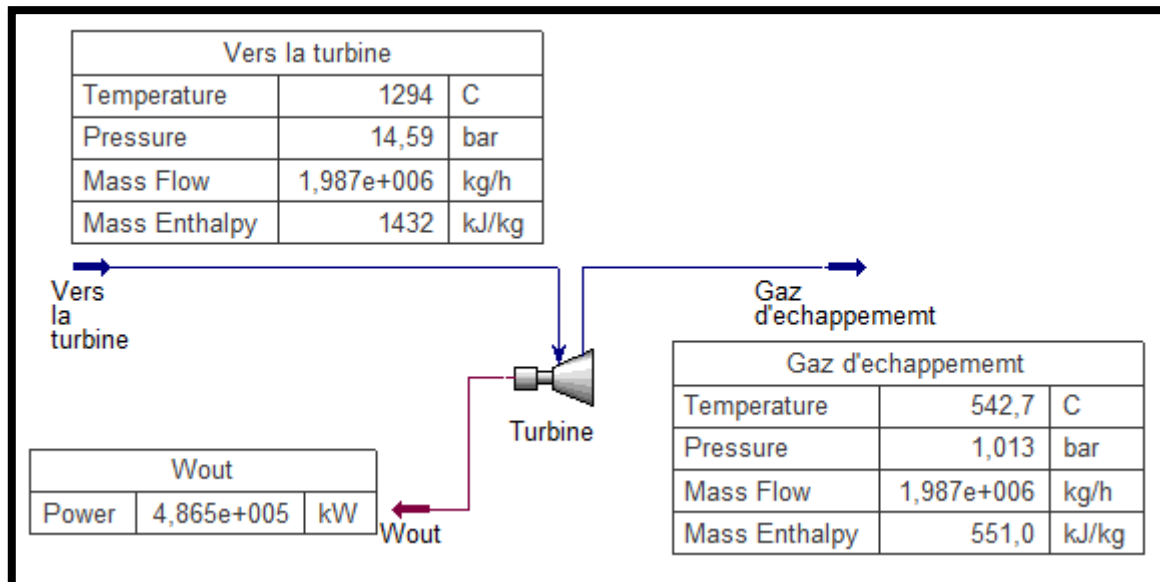
Les paramètres d'entrée introduits selon les données réelles fournies par la centrale SPE et ceux obtenus par le simulateur HYSYS (sortie) sont représentés sur la Figure III.21. La turbine détend les produits de combustion de 1258°C et 16.48 bars à 540.6°C et 1.013 bars en janvier pour produire une puissance de 555.4 MW. Au mois d'août, elle les détend de 1294°C et 14.59 bars à 542.7°C et 1.013 bars pour produire une puissance de 486.5 MW.

III.2.3.2. Effet de la température d'entrée sur la puissance produite par la turbine

D'après la Figure III.22 générée par HYSYS, on constate que la puissance produite par la turbine est affectée par la température des produits gazeux à détendre. Elle croît en fonction de leur température (conversion d'énergie). On constate aussi que la puissance réelle produite est bien estimée par le simulateur HYSYS, puisque la production réelle (points en rouge) coïncide avec celle estimée (ligne en bleu).



a. Paramètres d'entrée-sortie de la turbine relatifs au mois de janvier.



b. Paramètres d'entrée-sortie de la turbine relatifs au mois d'août.

Figure III.21. Paramètres d'entrée-sortie de la turbine au mois de janvier et août

III.2.3.3. Effet de la température d'entrée des gaz de combustion sur leur température à la sortie de la turbine

Le logiciel HYSYS nous a permis aussi de voir l'évolution de la température à la sortie de la turbine T_{out} en fonction de la température à son entrée T_{in} . Comme le montre la Figure III.23, la température à la sortie de la turbine croît avec la température à son entrée (conversion d'énergie). Une autre fois les résultats de la simulation coïncident avec la réalité.

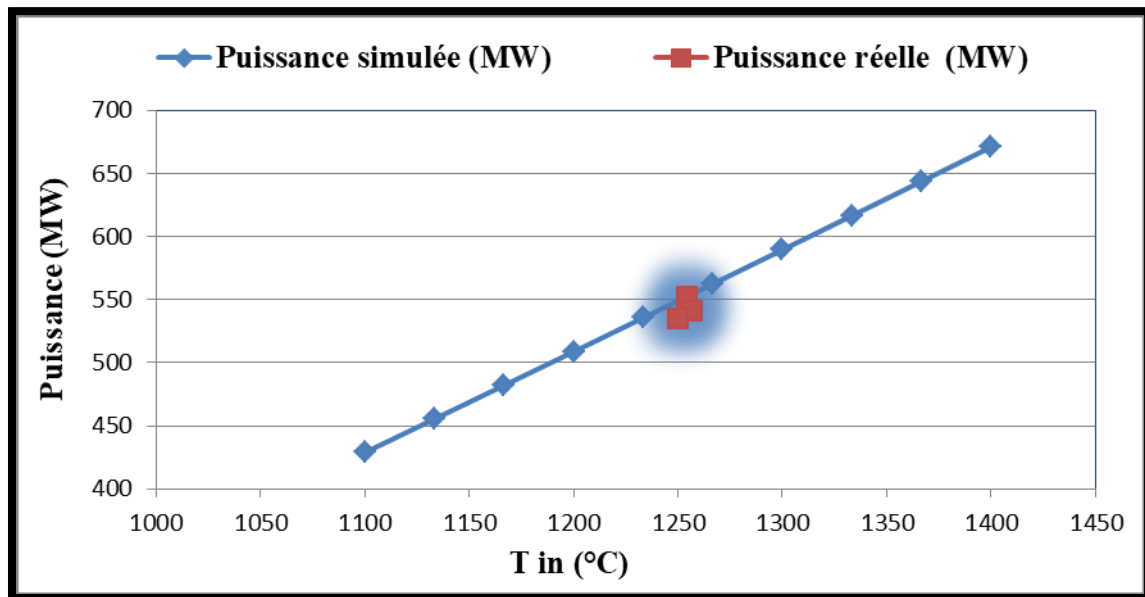


Figure III.22. Effet de la température d'entrée des gaz de combustion sur la puissance produite par la turbine.

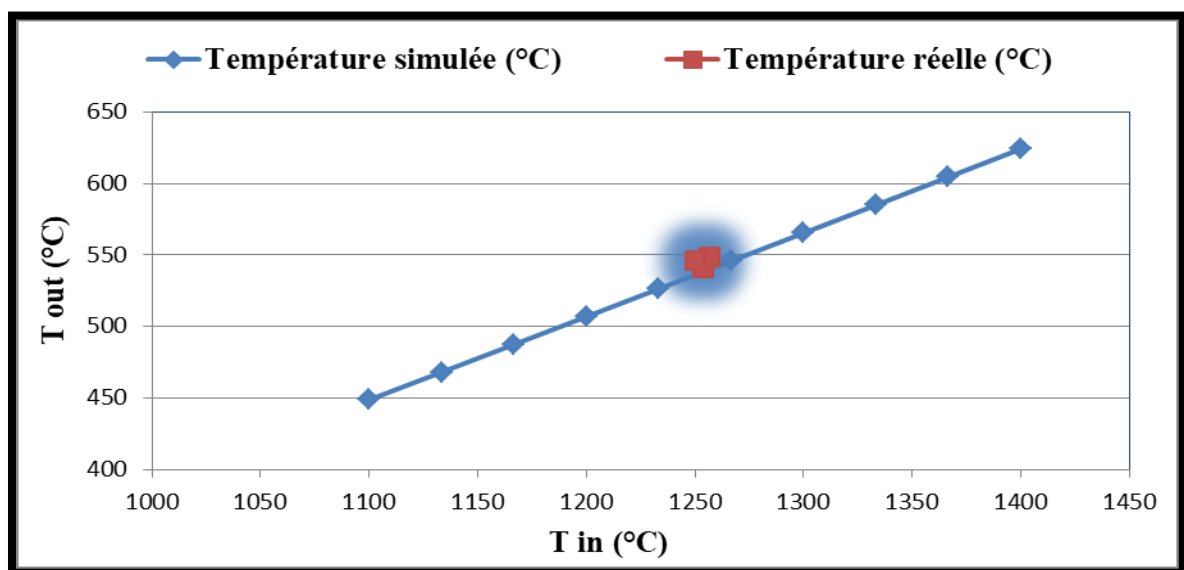


Figure III.23. Effet de la température d'entrée des gaz de combustion sur leur température à la sortie de la turbine.

III.2.3.4 Effet du rendement de la turbine sur sa puissance

Sur la Figure III.24, on a porté l'évolution de la puissance de la turbine en fonction de son rendement isentropique. Il est clair d'après cette figure qu'à chaque fois qu'on s'éloigne du rendement isentropique, la turbine produit moins d'énergie et vice versa dû aux phénomènes irréversibles. A titre d'exemple, pour un rendement isentropique de 100%, la turbine fournit 575 MW, alors que pour un rendement de 20%, elle produit une puissance de 115 MW.

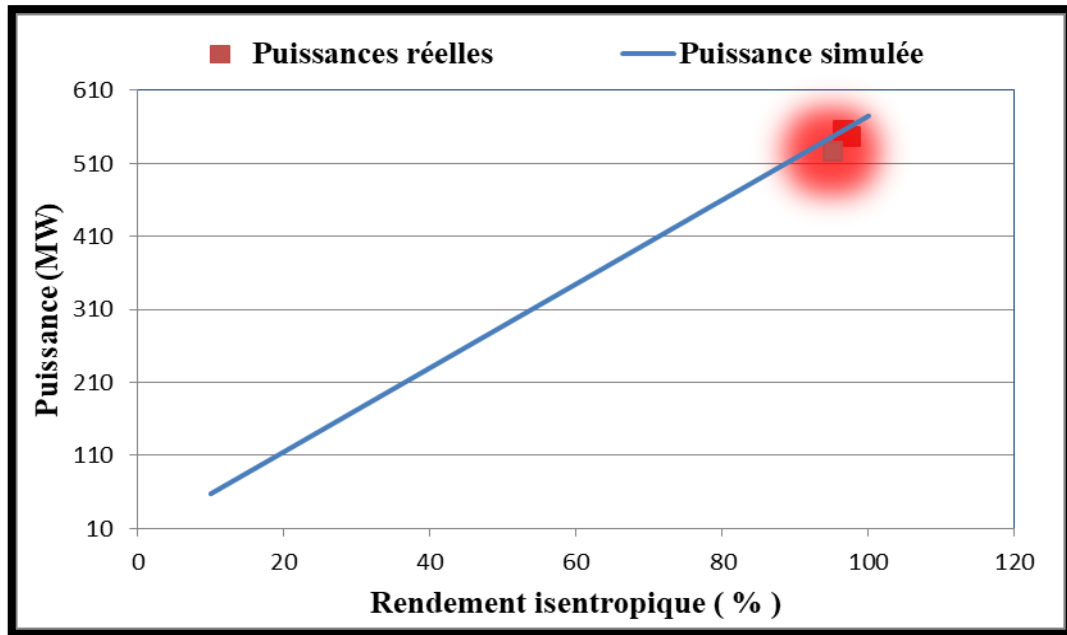


Figure III.24. Effet du rendement de la turbine sur sa puissance.

III.2.3.5 Diagramme T-S de la turbine

La Figure III.25 représente l'évolution de la température des gaz de combustion en fonction de l'entropie pour différents rendements isentropiques. On remarque qu'à partir de la même température à l'entrée de la turbine, la température à sa sortie diminue avec l'augmentation de rendement.

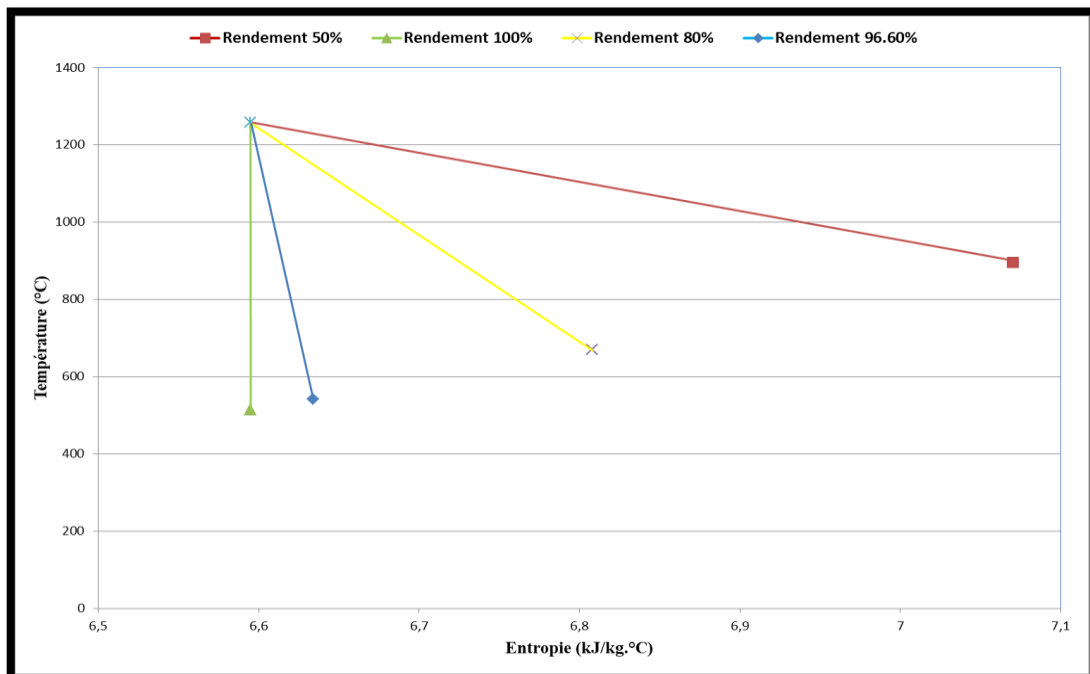


Figure III.25. Diagramme T-S du la turbine.

A titre d'exemple pour un rendement de 50% la température à la sortie de la turbine est de 895,9 °C, elle est de 514,1 °C pour une détente isentropique ($\eta=100\%$). Cette élévation est due aux pertes due aux phénomènes irréversibles (élévation d'entropie).

III.3 Effet des paramètres d'entrée sur le fonctionnement de la turbine à gaz

III.3.1 Effet du débit d'air sur la puissance nette de la turbine à gaz.

D'après la Figure III.26 générée par HYSYS, on observe que pour un débit du fuel constant égal à 14.59 kg/s, la puissance produite par la turbine est affectée légèrement par le débit d'air qui entre dans le compresseur pour différentes températures d'air. En effet, elle ne dépasse pas 2% sur la plage allant de 400 jusqu'à 700 kg/s. De même, la température de l'air affecte peu la puissance de la turbine à gaz (une variation ne dépassant pas les 3%).

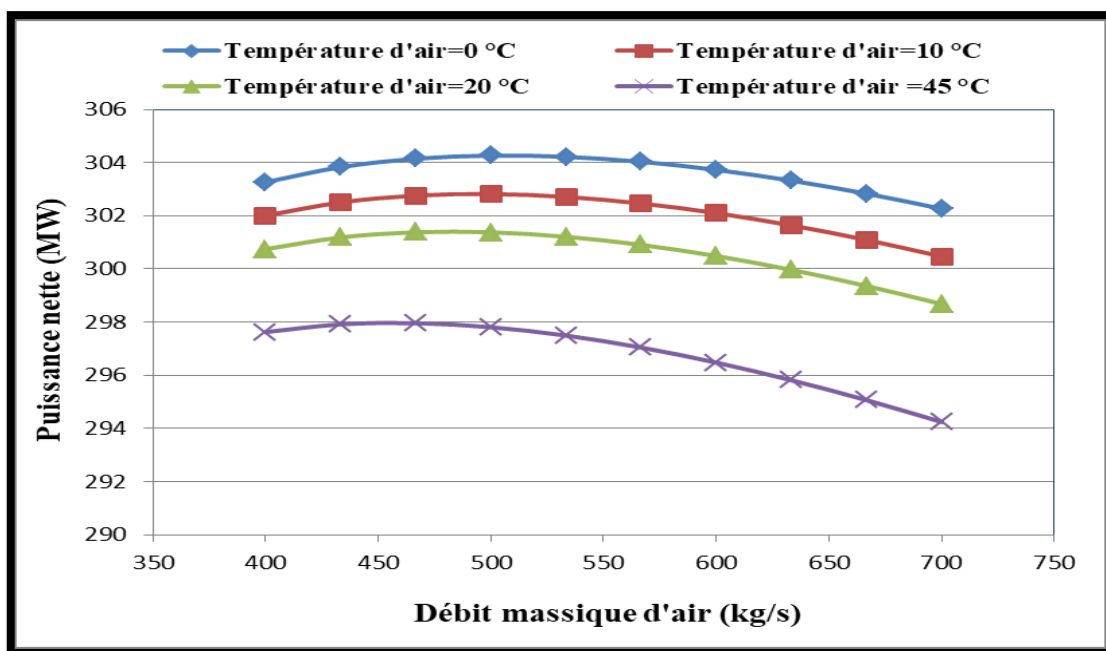


Figure III.26 Effet de débit et de la température de l'air sur la puissance nette de la turbine à gaz.

Il convient de noter qu'il existe des limites à considérer concernant le débit de l'air à introduire. Une augmentation excessive du débit d'air peut entraîner une surcharge du système, dépassant sa capacité de combustion et de refroidissement. Cela peut entraîner une diminution de l'efficacité globale et de la puissance nette de la turbine à gaz.

III.3.2 Effet du débit d'air à l'entrée sur les émissions CO₂

La Figure III.27 représente la quantité de CO₂ (pourcentage en mole) émise par la combustion d'un débit du fuel constant égal à 14.59 kg/s dans la chambre de combustion en fonction du débit d'air à l'entrée du compresseur pour différentes températures d'air.

On remarque que la concentration de CO₂ dans les produits de combustion diminue avec l'augmentation du débit d'air. A titre d'exemple, pour un débit d'air de 400 kg/s la

concentration de CO_2 est de 5,83 5 (mole %), alors qu'avec un débit d'air de 700kg/s, cette concentration a chuté à 3,41 (mole %)

On remarque aussi que la température de l'air n'a aucun impact sur les émissions CO_2 comme le montre la Figure III.27 (superposition des courbes à différentes températures).

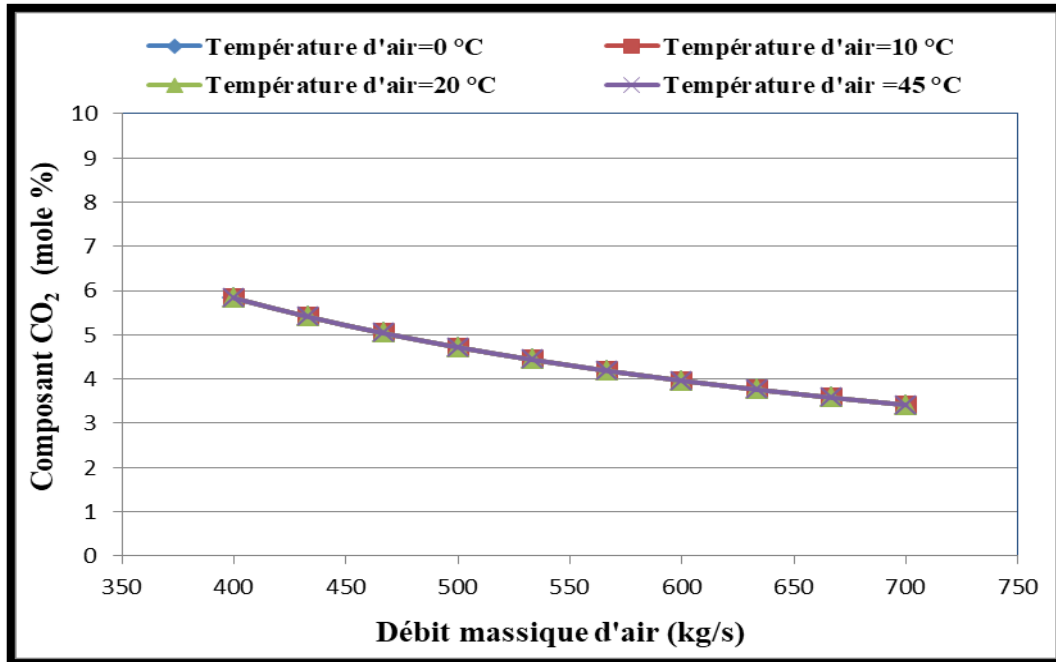


Figure III.27. Effet du débit d'air sur les émissions CO_2 .

III.3.3 Effet du débit d'air sur la température des gaz d'échappement

La Figure III.28 représente la variation de la température des gaz d'échappement pour un débit de fuel fixe égal à 14.59 kg/s, en fonction du débit d'air pour différentes températures. On remarque que la température des gaz d'échappement T_{out} est inversement proportionnelle au débit d'air. C'est à dire, une augmentation du débit d'air entraîne une diminution de la température des gaz d'échappement car l'excès d'air dans ce cas rafraîchit les produits de combustion. A titre d'exemple, la température des produits gazeux est de 804.98°C pour un débit d'air de 400kg/s à 45°C, alors qu'elle est de 515.86°C pour un débit de 700kg/s à la même température (45°C).

Une autre fois, on constate que la température de l'air n'a pas un grand effet sur la température des gaz d'échappement. En effet, pour une variation de la température de l'air de 0°C à 45 °C, la température des gaz détendu ne varie que de 5.71%.

III.3.4 Effet du débit du fuel sur la puissance nette de la turbine à gaz.

La Figure III.29 représente l'évolution de la puissance nette de la turbine à gaz en fonction du débit du fuel pour différents débits et températures d'air. On remarque que le débit du fuel exerce un effet remarquable sur la puissance nette fournie par la turbine à gaz qui croît avec

lui. Quantitativement, une variation du débit de fuel de 10 à 20 kg/s entraîne un gain en puissance de la turbine à gaz de 49.14.%

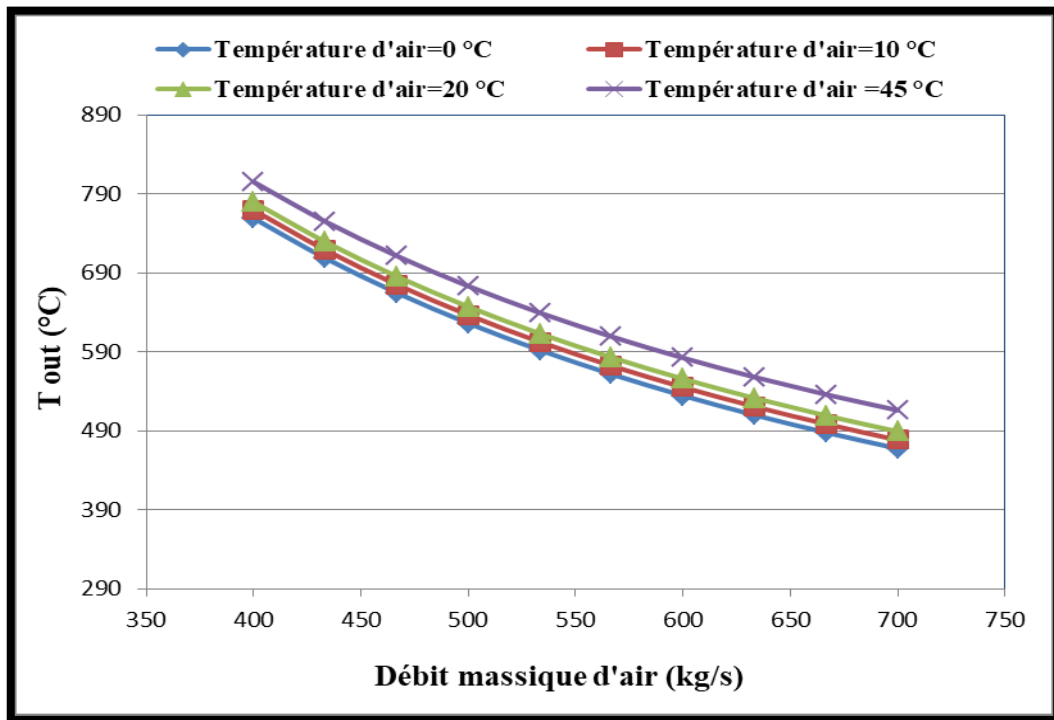


Figure III.28 Effet du débit d'air sur la température des gaz d'échappement.

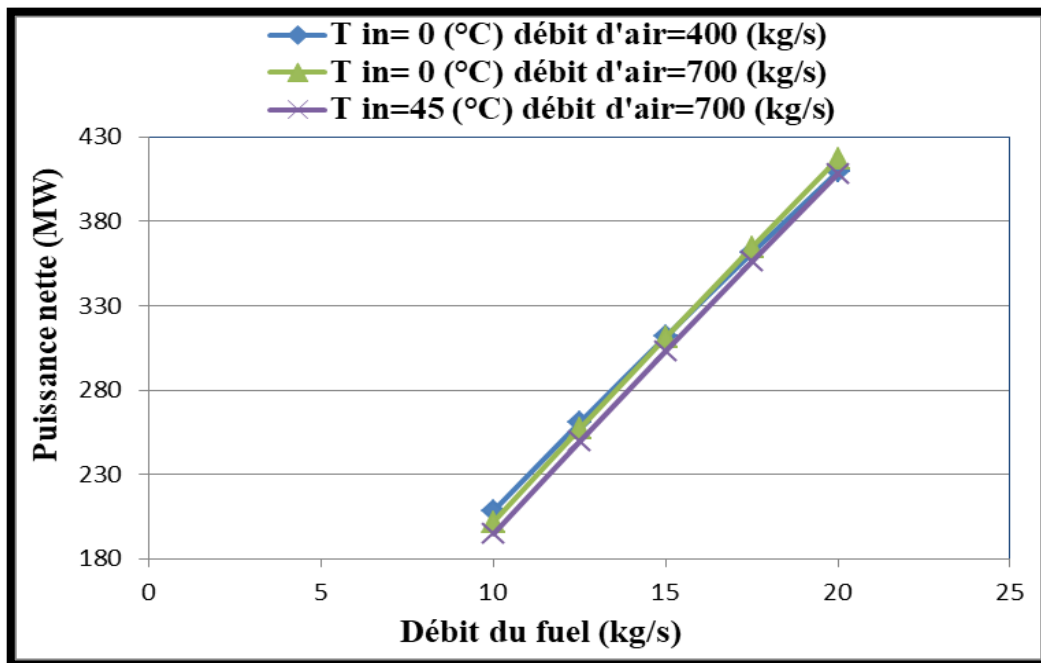


Figure III.29 Effet du débit du fuel sur la puissance nette de la turbine à gaz.

Une autre fois, on constate que la température de l'air n'a pas un grand effet sur la puissance de la turbine à gaz. En effet, pour une variation de la température de l'air de 0°C à 45 °C, la puissance fournie par la turbine à gaz ne varie que de 2.34%.

III.3.5 Effet du débit du fuel sur les émissions CO₂

La Figure III.30 représente l'effet du débit du fuel sur les émissions CO₂ pour différents débits et températures d'air. On remarque que la concentration de CO₂ dans les produits de combustion à la sortie de la turbine à gaz croît avec le débit du fuel (combustible) et décroît avec le débit d'air. A titre d'exemple, pour un débit du fuel de 10 kg/s et débit d'air 400 kg/s la concentration de CO₂ est de 4,07 (mole %), alors qu'avec un débit du fuel de 20 kg/s et débit d'air 400 kg/s, cette concentration atteint 7,82 (mole %).

On remarque aussi que la température de l'air n'a aucun impact sur les émissions CO₂ comme le montre la Figure III.30 (superposition des courbes à différentes températures).

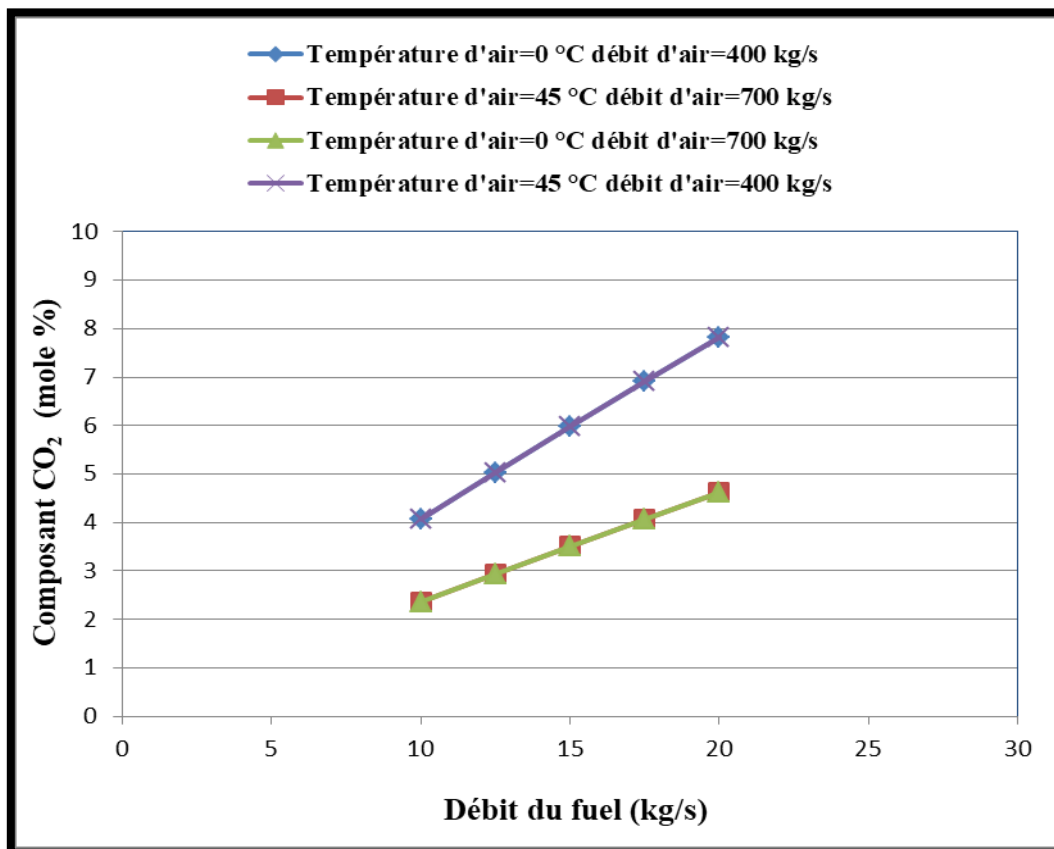


Figure III.30 Effet du débit du fuel sur les émissions CO₂ pour différents débits et températures d'air.

III.3.6 Effet de débit du fuel sur la température des gaz d'échappement

L'effet du débit du fuel sur la température des gaz d'échappement pour différents débits et températures d'air est porté sur la Figure III.31. On remarque que la température des gaz d'échappement rejetés dans l'atmosphère croît avec le débit du fuel et la température de l'air et décroît avec le débit d'air. Quantitativement, une variation du débit du fuel de 10 à 20 kg/s entraîne une augmentation de la température des gaz d'échappement de 42.62%. De plus, une variation de la température de l'air de 0°C à 45 °C entraîne une augmentation de la température des gaz d'échappement de 8%.

Il est important de trouver un équilibre entre le débit de carburant et le débit d'air afin d'assurer une combustion efficace et de maintenir une température des gaz d'échappement optimale pour une turbine à gaz.

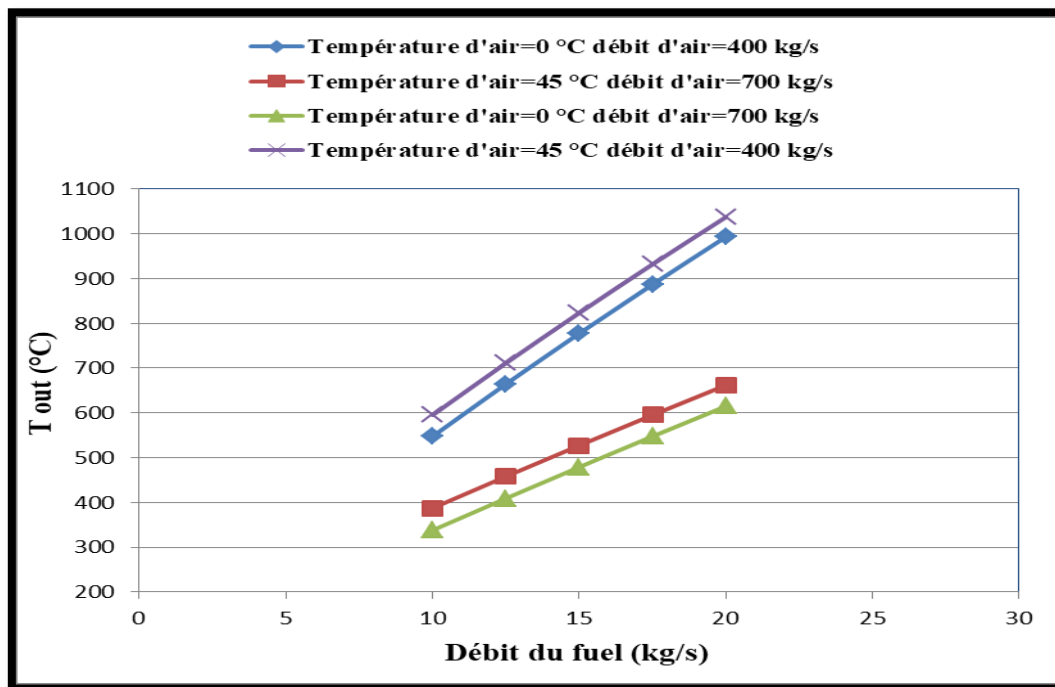


Figure III.31 Effet de débit du carburant sur la température des gaz d'échappement pour différents débits et températures d'air.

III.3.7 Effet de la température du carburant sur la puissance nette de la turbine à gaz

La Figure III.32 représente l'évolution de la température du carburant en fonction de la puissance de la turbine à gaz pour différents débits et températures d'air. On constate que la puissance de la turbine à gaz n'est pas affectée par la température du carburant, tandis qu'elle est influencée par son débit comme vu précédemment.

On remarque aussi que la température de l'air affecte légèrement la puissance nette produite. Quantitativement, une variation de la température de l'air de 0 °C à 45 °C entraîne un gain en puissance de la turbine à gaz de 2.15%

III.3.8 Effet de la température du carburant sur les émissions CO₂

La Figure III.33 représente l'effet de la température du carburant sur les émissions CO₂ pour différents débits et températures d'air ainsi que pour différents débits du carburant. On remarque que la concentration de CO₂ dans les produits de combustion à la sortie de la turbine à gaz n'est pas affectée par la température du carburant tandis qu'elle croît avec le débit du carburant (combustible) et décroît avec le débit d'air comme vu précédemment. Encore, la température de l'air n'a aucun impact sur les émissions CO₂ comme trouve précédemment.

Il est important de noter que les émissions de CO₂ sont principalement déterminées par l'utilisation des débits optimaux du carburant et d'air, plutôt que par leur température.

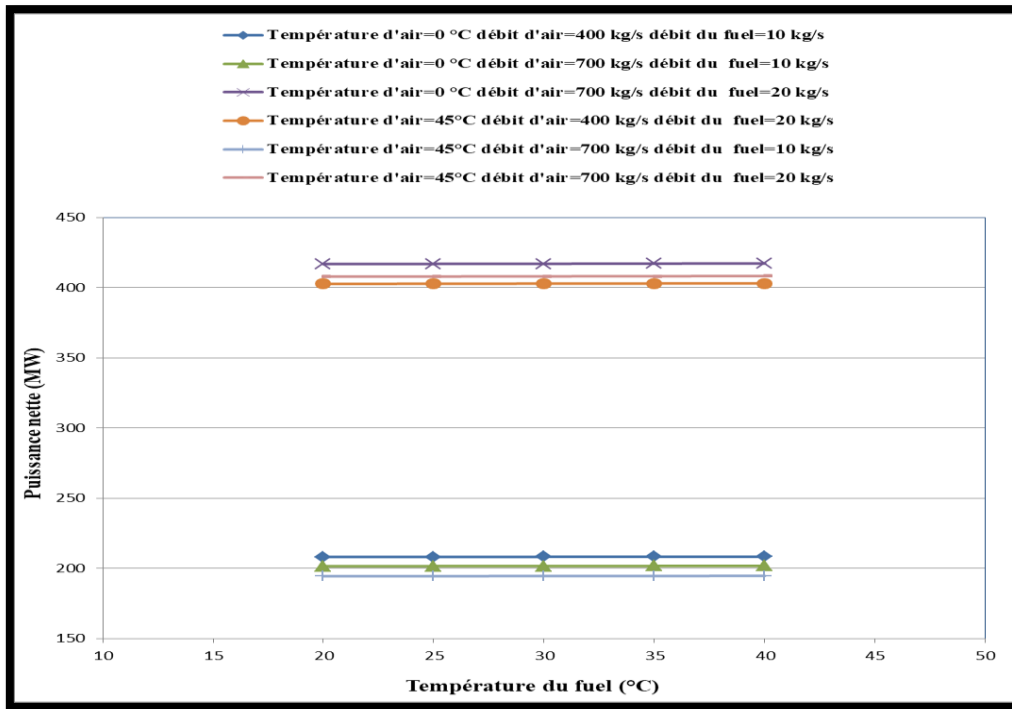


Figure III.32 Effet de la température du fuel sur la puissance de la turbine à gaz.

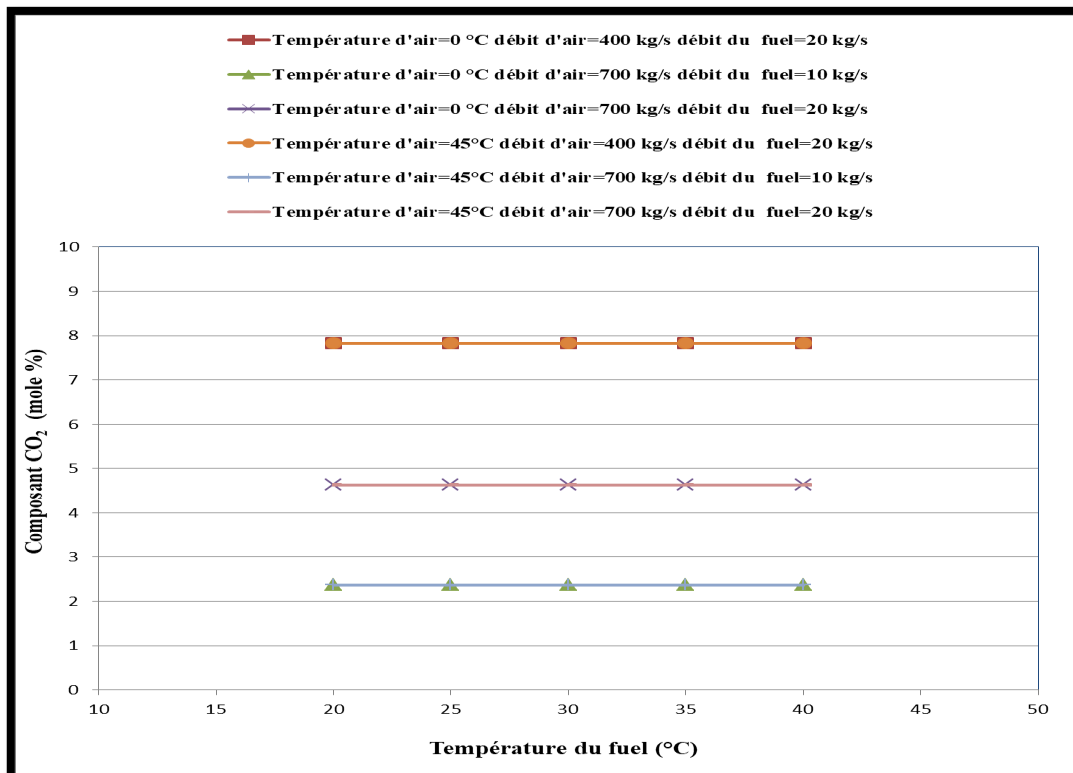


Figure III.33 Effet de la température du fuel sur les émissions CO₂.

III.3.9 Effet de la température du fuel sur la température des gaz d'échappement

L'effet de la température du fuel sur la température des gaz d'échappement pour différents débits et températures d'air est porté sur la Figure III.34. On remarque que la température du fuel n'affecte pas la température des gaz à la sortie de la turbine à gaz qui sont influencés par la température et le débit d'air ainsi que par le débit du fuel.

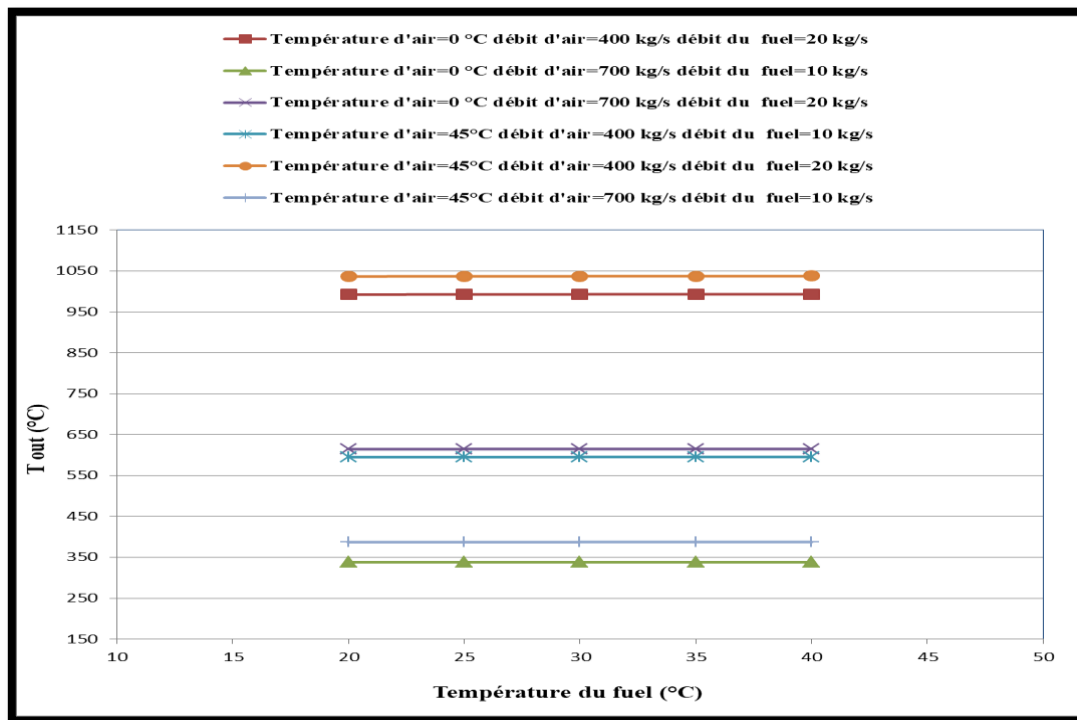


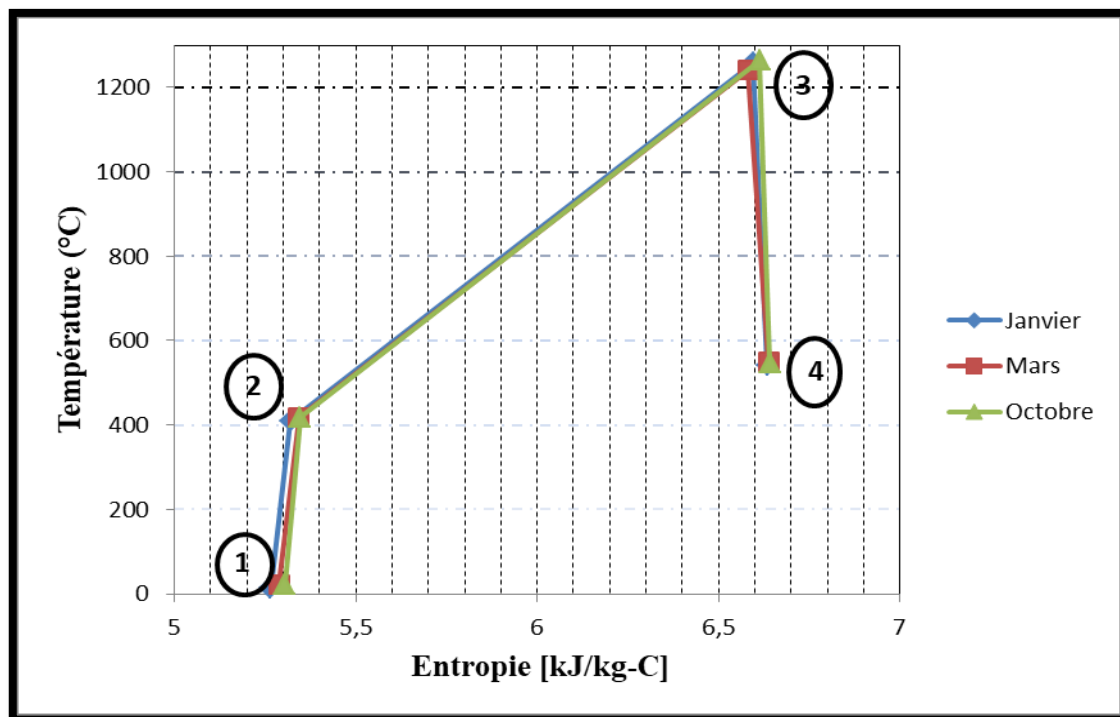
Figure III.34 Effet de la température du fuel sur la température des gaz d'échappement pour différents débits d'air et du fuel et différentes températures d'air.

III.4. Etude thermodynamique de l'installation actuelle

Sur la Figure III.35, on a tracé le cycle de Brayton de la turbine à gaz M sila III pour les mois de janvier, mars et octobre. Les trois cycles se superposent ce qui signifie que la turbine à gaz fonctionne en régime permanent. Comme le montre la Figure III.35, le cycle réel de la turbine à gaz est ouvert car les gaz à la sortie de la turbine sont rejetés dans l'atmosphère. De plus, la compression et la détente qui ont lieu dans le compresseur axial et la turbine respectivement sont des transformations poly tropiques.

On note que la compression est schématisé par la ligne 1-2, la combustion par la ligne 2-3 et la détente par le segment 3-4. Lors de la compression la température et l'entropie de l'air augmentent, de même lors de la combustion pour les produits gazeux. A la sortie de la turbine les gaz d'échappement perdent une partie de leur énergie qui s'est convertie en travail et par conséquent leur température diminue. Du aux phénomènes irréversibles, l'entropie à la sortie du compresseur et de la turbine augmente.

On peut calculer le rendement de la turbine à gaz M sila III en utilisant HYSYS.



La Figure III.35 Cycle de Brayton pour la turbine à gaz Msila III.

Le rendement de la turbine à gaz est défini comme le rapport entre la puissance nette produite et la puissance thermique mise en jeu (issue de la combustion du fuel).

$$\eta_{th} = \dot{W}_{nette} / \dot{Q}_{in} \quad (III.3)$$

La puissance nette produite est égale à la puissance de la turbine diminuée de la puissance du compresseur car ce dernier est entraîné par la turbine. Ces puissances sont calculées par HYSYS.

$$\dot{W}_{compresseur} = 254.05 \text{ MW}$$

$$\dot{W}_{turbine} = 555.4 \text{ MW}$$

$$\dot{W}_{nette} = \dot{W}_{turbine} - \dot{W}_{compresseur} \quad (III.4)$$

$$\dot{W}_{nette} = 301.35 \text{ MW}$$

Le pouvoir calorifique du fuel PCS est une donnée qu'on a recueillie auprès de la SPE.

$$PCS = 39107.8 \text{ kJ/m}^3$$

La puissance thermique mise en jeu

$$\dot{Q}_{in} = PCS * \dot{m}_f \quad (III.5)$$

$$\dot{Q}_{in} = 725.059 \text{ MW}$$

$$\eta_{th} = 0.4 = 40 \%$$

Les turbines à gaz présentent quelques inconvénients, notamment :

- Faible rendement à charge partielle : Les turbines à gaz ont généralement un rendement élevé à pleine charge, mais leur efficacité diminue lorsqu'elles

fonctionnent à des charges partielles. Cela signifie qu'elles peuvent être moins efficaces dans les situations où la demande d'énergie est faible,

- Dépendance aux combustibles fossiles : Les turbines à gaz traditionnelles fonctionnent principalement avec des combustibles fossiles tels que le gaz naturel ou le fioul. Cela les rend dépendantes des ressources non renouvelables et les expose aux fluctuations des prix des combustibles,
- Émissions de CO₂: Bien que les turbines à gaz soient considérées comme relativement propres par rapport à d'autres sources d'énergie, elles émettent encore du dioxyde de carbone (CO₂) lors de la combustion des combustibles fossiles. Cela contribue au problème du changement climatique et nécessite des mesures de réduction des émissions.
- Nécessité d'installations de refroidissement : Les turbines à gaz génèrent beaucoup de chaleur pendant leur fonctionnement, ce qui nécessite des installations de refroidissement pour maintenir les températures à des niveaux acceptables. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires et des défis logistiques lors de l'installation et de l'exploitation des turbines à gaz.

D'après la Figure III.35, on constate que la température des gaz d'échappement de la turbine à gaz du groupe M sila III est de l'ordre de 545 °C. Ces gaz très chauds qui contiennent une énergie thermique importante sont rejetés dans l'atmosphère gratuitement. Dans ce qui suit on essaie d'améliorer le rendement de la turbine à gaz par l'exploitation de cette énergie.

III.5 Amélioration de la turbine à gaz actuelle sous HYSYS

L'une des principales améliorations pour augmenter le rendement d'une turbine à gaz consiste à mettre en place un cycle combiné. Le cycle combiné est une configuration dans laquelle les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz sont utilisés pour générer de la vapeur, qui alimente ensuite une turbine à vapeur supplémentaire. La puissance produite par cette dernière est convertie à son tour en électricité.

La Figure III.36 montre le schéma du cycle combiné à réaliser sous HYSYS pour récupérer l'énergie perdue contenue dans les gaz d'échappement. Les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz passent par un échangeur de chaleur, également appelé chaudière de récupération de chaleur. Dans cet échangeur, la chaleur des gaz d'échappement est transférée à un fluide de travail, de l'eau, pour produire de la vapeur à haute pression. La vapeur ainsi produite alimente une turbine à vapeur supplémentaire. Cette turbine supplémentaire produit également de l'énergie mécanique pour générer de l'électricité. Après avoir traversé la turbine à vapeur, la vapeur est refroidie et condensée en utilisant un condenseur, généralement alimenté par de l'eau froide. La vapeur condensée est renvoyée à l'échangeur de chaleur pour être réchauffée à nouveau et former un cycle fermé.

Calculons la puissance récupérée, la puissance nette récupérée est égale à la puissance de la turbine à vapeur diminuée de celle de la pompe

$$\dot{W}_{tvp} = \dot{W}_{tv} - \dot{W}_p \quad (\text{III.6})$$

$$\dot{W}_{tvp} = 32.98 - 0.2418 = 32.73 \text{ MW}$$

Le rendement de cycle combiné est donné par la formule suivante:

$$\eta_{\text{Cycle combiné}} = \frac{\dot{W}_{T_{\text{gaz}}} + \dot{W}_{T_{\text{vp}}}}{\dot{Q}_m} \quad (\text{III.7})$$

Où, $\dot{W}_{T_{\text{gaz}}}$ est la puissance nette de la turbine à gaz,

$\dot{W}_{T_{\text{vp}}}$ est la puissance nette de la turbine à vapeur,

$$\eta_{\text{Cycle combiné}} = 0.46 = 46\%$$

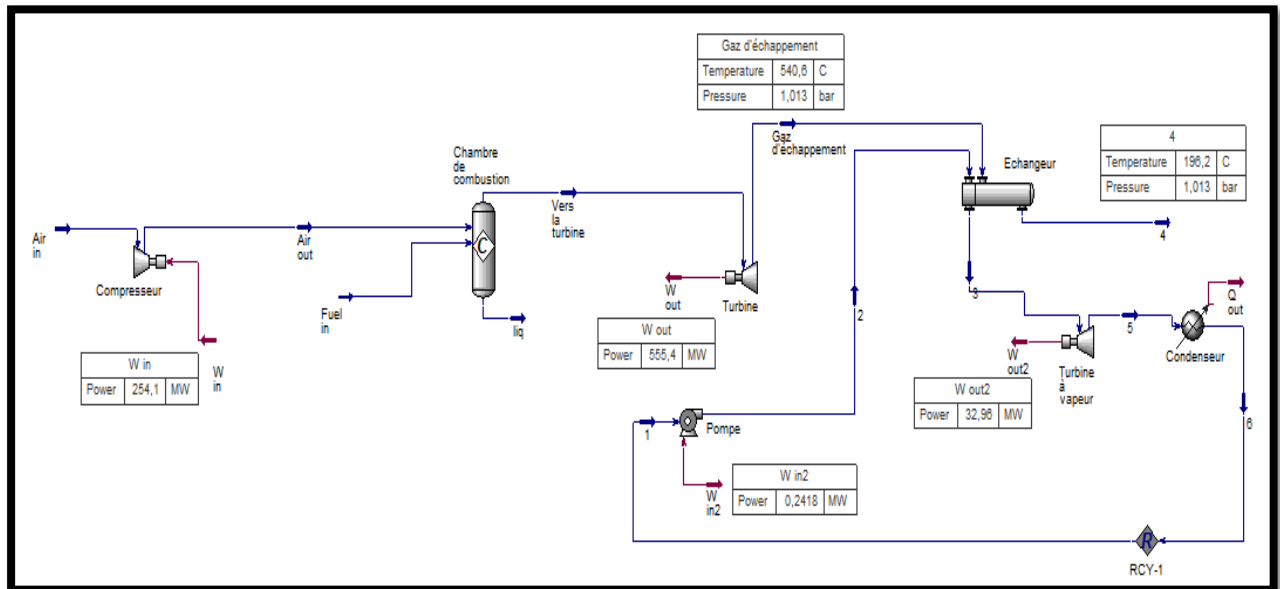


Figure III.36 Amélioration de la turbine à gaz actuelle

En utilisant un cycle combiné, la chaleur résiduelle des gaz d'échappement, qui serait autrement perdue, est récupérée pour produire de la vapeur supplémentaire et générer davantage d'électricité. Cela permet d'augmenter considérablement le rendement global du système.

Cependant, la mise en place d'un cycle combiné nécessite une infrastructure plus complexe et des investissements supplémentaires. Il est donc important de prendre en compte les coûts, la disponibilité de l'eau de refroidissement et d'autres facteurs lors de la décision d'implémenter un cycle combiné.

III.6 Conclusion

Ce chapitre consacré à l'application du logiciel HYSYS à la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III appartenant à la centrale thermique SPE de Draa El Hadja, nous a permis de déterminer ses paramètres de fonctionnement, en se basant sur les températures, les pressions et le débit d'air à l'entrée et à la sortie du compresseur, le débit et la température du fuel à l'entrée de la chambre de combustion, ainsi que la température à la sortie de la turbine à gaz.

La turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III ayant un rendement de 40 %, fonctionne en régime permanent avec un excès d'air estimé à 158% en masse et un débit d'air moyen de 588.24 kg/s. Le rendement isentropique du compresseur et de la turbine sont évalués à 91.92 % et 96.36 % respectivement. Les gaz brûlés à la sortie de la turbine à gaz se

trouvent à des températures très élevés de l'ordre de 545°C. La concentration molaire moyenne du CO₂, l'un des composants des produits de combustion est estimée à 3.876%.

Cette étude nous a permis aussi de cerner les paramètres qui influent sur le fonctionnement des différents composants de la turbine à gaz à savoir le compresseur, la chambre de combustion et la turbine.

La température et le débit de l'air admis, en plus du rendement du compresseur influencent la puissance du compresseur et la température de l'air comprimé comme illustré sur le tableau récapitulatif suivant:

Tableau III.3. Paramètres influençant le fonctionnement du compresseur axial

	Puissance	T_{out}
T_{in} ↗	↘	↗
Q_{in} ↗	↗	-
η ↗	↘	↘

L'influence de la température de l'air et du fuel, leurs débits ainsi que le rendement de la combustion sur la température des gaz brûlés à la sortie de la chambre de combustion et la concentration de CO₂ dans les produits gazeux est présentée sur le tableau récapitulatif III.4.

Tableau III.4. Paramètres influençant le fonctionnement de la chambre de combustion

	T_{out}	CO ₂
η ↗	↗	↗
Q_{air} ↗	↘	↘
Q_{fuel} ↗	↗	↗
$T_{in\ air}$ ↗	↗	↗
$T_{in\ fuel}$ ↗	négligeable	négligeable

La température des produits de combustion admis dans la turbine ainsi que son rendement affectent positivement sa puissance fournie et la température des produits gazeux détendus selon le tableau récapitulatif suivant :





Tableau III.5. Paramètres influençant le fonctionnement de la turbine.

	Puissance	T_{out}
T_{in} ↗	↗	↗
η ↗	↗	↗

L'influence de la température de l'air et du fuel et leurs débits sur la puissance de la turbine à gaz, la température des rejets gazeux dans l'atmosphère et leur concentration en CO₂ est résumée dans le tableau III.6.

Tableau III.6. Paramètres influençant le fonctionnement de la turbine.

	puissance	T_{out}	Emission CO ₂
Q_{air} ↗	~	↘	↘

T_{air}	~	~	~
Q_{fuel} 			
T_{fuel}	-	-	-

Le logiciel HYSYS nous a permis de récupérer l'énergie thermique contenue dans les produits gazeux qui sortent à la température de 545°C pour générer de la vapeur, qui alimente ensuite une turbine à vapeur supplémentaire.

Cette configuration nous a permis d'améliorer le cycle de la turbine actuelle et de le porter jusqu'à 46%.

Conclusion générale

Conclusion générale:

L'objectif de ce mémoire est l'application du logiciel HYSYS aux procédés industriels dans la wilaya de M'sila. Faute de temps, on a l'appliqué seulement à la centrale de production d'électricité (SPE).

La centrale de M'sila de 63 hectares de superficie, est située à 7 Km à l'ouest de M'Sila ville (Draa El Hadja). Elle est composée de 2 groupes de turbines à gaz THOMASSEN de puissance nominale de 23 MW chacune (M'sila I), de 03 groupes ALSTHOM de puissance nominale de 110 MW chacun (M'sila II) et de 02 groupes de puissance 215 MW chacun (M'sila III), totalisant en moyenne une puissance de 806 MW.

La turbine à gaz est essentiellement constituée de trois parties principales à savoir, un compresseur, une chambre de combustion et une turbine.

Lors de cette étude, on a choisi la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III. Le logiciel HYSYS nous a permis de déterminer ses paramètres de fonctionnement, en se basant sur les températures, les pressions et le débit d'air à l'entrée et à la sortie du compresseur, le débit et la température du fuel à l'entrée de la chambre de combustion, ainsi que la température à la sortie de la turbine à gaz.

La turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III ayant un rendement de 40 %, fonctionne en régime permanent avec un excès d'air estimé à 158% en masse et un débit d'air moyen de 588.24 kg/s. Le rendement isentropique du compresseur et de la turbine sont évalués à 91.92 % et 96.36 % respectivement. Les gaz brûlés à la sortie de la turbine à gaz se trouvent à des températures très élevés de l'ordre de 545°C. La concentration molaire moyenne du CO₂, l'un des composants des produits de combustion est estimée à 3.876%.

Les résultats de simulation atteints par cette étude montre que :

- La puissance consommée par le compresseur décroît en fonction de la température de l'air admis et du rendement isentropique, tandis qu'elle croît avec la masse d'air à comprimer ;
- La température à la sortie du compresseur croît en fonction de sa température à l'entrée et décroît avec le rendement isentropique. Par contre, elle n'est pas affectée par le débit d'air à comprimer ;
- Le taux de conversion, la température de l'air comprimé, et le débit du fuel affectent la température des produits gazeux sortant de la chambre de combustion de la même manière. C.-à-d. lorsque ces paramètres croient, la température des gaz brûlés croît aussi, de même que leur concentration en CO₂ à l'inverse du débit d'air admis dans la chambre de combustion qui en augmentant réduit la température des produits gazeux et leur concentration en CO₂ ;
- La température du fuel et de l'air n'affectent ni la température des gaz à la sortie de la turbine à gaz, ni leur concentration en CO₂, non plus la puissance fournie ;
- La température des produits de combustion admis dans la turbine ainsi que son rendement affectent positivement sa puissance fournie et la température des produits gazeux détendus ;

Conclusion générale

- L'augmentation du débit du fuel admis dans la turbine à gaz fait croître sa puissance, la température des gaz à sa sortie et leur concentration en CO₂ à l'inverse du débit d'air qui fait décroître les paramètres à la sortie de la turbine mais qui n'a pas d'effets sur sa puissance.

En utilisant le logiciel HYSYS, on a pu récupérer l'énergie thermique contenue dans les produits gazeux qui sortent à la température de 545°C pour générer de la vapeur, qui alimente ensuite une turbine à vapeur supplémentaire. Cette configuration nous a permis d'améliorer le rendement du cycle de la turbine actuelle et de le porter jusqu'à 46%.

Grâce à la simulation réalisée avec HYSYS, on a pu évaluer les performances de la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III et maximiser la production d'électricité.

L'étude économique et la réalisation du projet d'amélioration de la turbine à gaz n'a pas été abordé dans ce mémoire, on le recommande pour les promotions à venir.

HYSYS est un puissant outil de simulation des procédés industriels, utilisé par les ingénieurs pour concevoir, analyser et optimiser les opérations dans l'industrie chimique et pétrochimique. Il contribue à améliorer les performances des procédés, réduire les coûts et assurer une production plus efficace et durable.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : Mémoire (Gestion de la zone industrielle et de la zone d'activité et de stockage une étude de cas de la ville de M'sila) UNIVERSIT Mohamad Boudiaf M'sila 2018 Ben MAHFOUZ Wafaa Tlja
- [2]] https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_M%27Sila
- [3] : <https://www.aniref.dz>
- [4]<https://www.msilawilaya.dz/%D8%A7%D9%84%D9%88%D9%84%D8%A7%D9%8A%D8%A9>
- [5] : <https://www.msilawilaya.dz/>
- [6] : Wilaya de M'sila direction de l'industrie les entreprises industrielles dans la commune de M'sila au 31/12/2022.
- [7] : Direction des services agricoles (D.S.A.) M'sila 2014.
- [8] : Station de production électricité au 05/03/2023.
- [9] : Mémoire (étude thermodynamique d'une turbine à gaz Type V92.4(avant et après révision))2019UNIVERSITE SID Yasser & AICHA Billal.
- [10] : Mémoire (Diagnostic d'une turbine à gaz V94.3A par analyse d'huile) UNIVERSIT YAHIA FARES DE MEDEA 2020 FOURAR Rabah & DIFAOUI Slimane.
- [11] : Miles Adel, mémoire de magister, Optimisation des cycles de liquéfaction du Gaz Naturel, université Montouri – Constatine, département de génie mécanique, 2009.
- [12] : Mémoire de fin d'étude « simulation d'une unité de production de méthanol à l'aide de l'aspen plus-hysys » réalisé par : Djebbari,A Université Mohamed Khider – Biskra (2014).
- [13] : MÉMOIRE DE MASTER Présenté et soutenu par : Tina Djaber Amine Calcul Technologique et simulation du procédé de distillation Le : dimanche 26 juin 2022.
- [14] : Mémoire du diplôme de Master en : Génie des Procédés Option : Génie Chimique présenté par LAMARA Hamza THÈME : Etude d'une unité de fabrication de produits fluorés le Juin 2015.
- [15] : Jiménez, M.S.Basualdo, Et J.C.Gómez « nonlinear dynamic modeling of multicomponent batch distillation: a case study » brazilian journal of chemical engineering, vol. 19, no. 03, pp. 307 - 317, july - september 2002
- [16] : PROJET DE FIN D'ETUDES Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en 21/09/2017 par : BOUDAA Dyhia GACI Soumia thème ETUDE ET SIMULATION D'UNE INSTALLATION DE LIQUEFACTION ET SEPARATION DES GAZ DE L' AIR.
- [17] : Mémoire du diplôme de 3ème Licence Génie des Procédés Présentée par: Dr. MAHIDA Badra 2021-2022 Thème Polycopie Simulateurs de procédés Dédié aux étudiants.
- [18] : INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE Ecole de Boumerdès UFR : Gas, Refining and Petrochemistry Initiation au simulateur HYSYS N. REBAI.

Abstract

The objective of this dissertation is the application of the HYSYS software to industrial processes in the M'sila province. HYSYS is a widely used industrial process simulation software in the chemical and petrochemical industries. In this study, the ANSALDO V.94.3A gas turbine from the M'sila III group was chosen. The HYSYS software allowed us to determine its operating parameters based on inlet and outlet air temperatures, pressures, and flow rates, as well as fuel flow rate and temperature at the combustion chamber inlet, and the gas turbine's outlet temperature. It also enabled us to analyze the operation of the various components of the gas turbine and optimize its performance.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est l'application du logiciel HYSYS aux procédés industriels dans la wilaya de M'sila. HYSYS est un logiciel de simulation de procédés industriels largement utilisé dans l'industrie chimique et pétrochimique. Lors de cette étude, on a choisi la turbine à gaz ANSALDO V.94.3A du groupe M'sila III. Le logiciel HYSYS nous a permis de déterminer ses paramètres de fonctionnement, en se basant sur les températures, les pressions et le débit d'air à l'entrée et à la sortie du compresseur, le débit et la température du fuel à l'entrée de la chambre de combustion, ainsi que la température à la sortie de la turbine à gaz. Il nous a permis aussi d'étudier le fonctionnement des différents composants de la turbine à gaz et de maximiser son fonctionnement.

المخلص

الهدف من هذا البحث هو تطبيق برنامج هاييسيس على العمليات الصناعية في ولاية المسيلة. هاييسيس هو برنامج محاكاة للعمليات الصناعية يُستخدم على نطاق واسع في صناعة الكيمياء والبتروكيميا. خلال هذه الدراسة، تم اختيار توربينة الغاز أنسالدو ف.3.94 من مجموعة المسيلة 3. ساعدنا برنامج هاييسيس في تحديد معايير تشغيلها، استنادًا إلى درجات الحرارة والضغط ومعدل تدفق الهواء عند مدخل ومخرج الضاغط، ومعدل تدفق الوقود ودرجة حرارته عند مدخل غرفة الاحتراق، بالإضافة إلى درجة الحرارة عند مخرج توربينة الغاز. كما سمح لنا بدراسة عمل مكونات توربينة الغاز المختلفة وتحسين أدائها.