

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MEMOIRE
PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER
FILIERE : GENIE MECANIQUE
SPECIALITE : ENERGETIQUE
PAR :
AMAROUCHE OUALAID
DJEMADI RAMZI
Thème

Optimisation des systèmes énergétiques et application

Soutenu le 25/ 06 /2023

Devant le jury composé de :

Mr. M'HAMDI
Mr. MENDIL
Mr. ADNANI

Encadrant
Président
Examinateur

année universitaire : **2022 - 2023**

Remerciement

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de notre travail.

*Nous voudrions dans un premier lieu remercier notre encadrant **Mr. MHAMDI** pour sa confiance en nous, sa patience et sa disponibilité.*

Nous remercions également les membres du jury, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail, ainsi que tous les membres du département de Génie mécanique pour leurs efforts.

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à M. **BOUKELLA Taqiy Eddine**, enseignant à l'Université Mohamed Seddik Benyahia-Jijel, ainsi qu'à ses deux étudiants, **Islem Meriche** et **Adem Chemoul**, pour leur précieuse aide.*

Un grand merci à nos familles et nos ami(e)s qui nous ont accompagné et soutenu tout le long de notre parcours universitaire.

Dédicace

Je dédier ce mémoire

À mes parents, mon frère et mes sœurs, qui m'ont toujours soutenu tout au long de ce parcours académique.

À ma famille, mes amis et mes proches, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants.

À mes professeurs et enseignants, pour leur expertise, leur patience et leurs précieux enseignements.

A.Oualaid

Dédicace

*À tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ce parcours
académique, Je dédier ce mémoire.*

*À ma famille, mes amis et mes proches, leur soutien
inconditionnel et leurs encouragements constants.*

*À mes professeurs et enseignants, pour leur expertise, leur
patience et leurs précieux enseignements.*

*Je tiens également à remercier tous ceux qui ont contribué de
près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

Votre appui et vos conseils ont été d'une valeur inestimable.

Nomenclature

m_e : Masse d'eau entrant dans le système

h_e : Enthalpie de l'eau entrant dans le système

m_s : Masse d'eau sortant du système

h_s : Enthalpie de l'eau sortant du système

m_{acc} : Masse d'eau accumulée dans le système

h_{acc} : Enthalpie de l'eau accumulée dans le système

Q : Énergie ajoutée ou enlevée du système

Q_e : Énergie ajoutée à l'eau entrant dans le système

Q_s : Énergie enlevée de l'eau sortant du système

Q_{acc} : Énergie accumulée dans le système

W : travail effectué par le système

Q : La quantité de chaleur transférée

U : Le coefficient de transfert de chaleur du matériau

h : Le coefficient de transfert de chaleur par convection.

A : La surface d'échange de chaleur

T_2 et T_1 : Les températures des deux côtés du matériau.

2. Équation de bilan thermique : $Q = m \times c_p \times (T_2 - T_1)$

Q : La quantité de chaleur transférée.

m : La masse du matériau.

c_p : La capacité thermique du matériau.

T_2 et T_1 : Les températures des deux corps.

k : le nombre d'équations du bilan massique .

I : le nombre d'équations du bilan énergétique.

Liste des Figures

Figure I.1 : Schéma d'une centrale électrique au charbon.....	4
Figure I.2 : Le réseau de chauffage urbain en géothermie.....	6
Figure I.3 : schéma d'une centrale hydraulique.....	8
Figure I.4 : Schéma système de pompage d'eau pour l'irrigation.....	10
Figure II-1 : Schéma à suivre pour l'analyse de sensibilité.....	19
Figure III-1 : système ouvert a plusieurs entrées (i) et sorties (j).....	20
Figure III-2: schéma de la pompe centrifuge.....	22
Figure III-3: schéma de la chaudière	22
Figure III-4: schéma d'une turbine à vapeur	23
Figure III-5 : Diagramme isentropique.....	24
Figure III-6: schéma d'un condenseur à vapeur.....	24
Figure III-7: schéma d'un échangeur de chaleur.....	25
Figure III-8 : schéma de dégazeur.....	26
Figure III-9 : Exemple de logiciel cycle-tempo.....	27
Figure III-10 : le Système matriciel du logiciel cycle-tempo.....	28
Figure IV-1 : Schéma à suivre pour l'application.....	30
Figure IV-2 : Configuration du cycle de Rankine simple.....	32
Figure IV-3 : Configuration d'une centrale à vapeur.....	34
Figure IV-4 : Mode analyse de cycle Rankin.....	35
Figure IV-5 : Configuration de cycle avec un soutirage sous cyclepad.....	36
Figure IV-6 : Mode analyse de cycle avec un soutirage.....	36
Figure IV-7 : Proposition d'une configuration d'une centrale à vapeur.....	36
Figure IV-8: Résultat de la modélisation de la centrale à vapeur de Achouat.....	37
Figure IV-9 : le diagramme (T-S) de la centrale.....	38
Figure IV-10 : Résultat après l'augmentation de température $T= 550\text{ }^{\circ}\text{C}$	39
Figure IV-11 : Résultat après l'augmentation de température $T= 560\text{ }^{\circ}\text{C}$	40
Figure IV-12 : Résultat après l'augmentation de température $T= 570\text{ }^{\circ}\text{C}$	41

Figure IV-13 : Résultat après l'augmentation de température $T= 580\text{ }^{\circ}\text{C}$	42
Figure IV-14 : Résultat après l'augmentation de pression $P= 130\text{ bar}$	43
Figure IV-15 : Résultat après l'augmentation de pression $P= 140\text{ bar}$	44
Figure IV-16 : Résultat après l'augmentation de pression $P= 150\text{ bar}$	45
Figure IV-17 : Résultat après l'augmentation de pression $P= 160\text{ bar}$	46
Figure IV-18: Résultat après que $P =160\text{ bar}$ et $T =580^{\circ}\text{C}$	47
Figure IV-19 : Résultat après l'ajout du soutirage.....	49
Figure IV-20 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que $T=580^{\circ}\text{C}$	50
Figure IV-21 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que $P = 160\text{ bar}$	51
Figure IV-22 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que $T=580^{\circ}\text{C}$ et $P= 160\text{ bar}$	52
Figure IV-23 : Le rendement en fonction de température.....	54
Figure IV-24 : Le rendement en fonction de pression.....	55
Figure IV-25 : Schéma des résultats.....	57

Liste des tableaux

Tableau IV-1 : tableau d'efficacité énergétique de la centrale Achouat	38
Tableau IV-2: tableau de l'efficacité énergétique après que $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$	40
Tableau IV-3: tableau de l'efficacité énergétique après que $T=560\text{ }^{\circ}\text{C}$	41
Tableau IV-4: tableau de l'efficacité énergétique $T=570\text{ }^{\circ}\text{C}$	42
Tableau IV-5 : tableau de l'efficacité énergétique après que $T=580\text{ }^{\circ}\text{C}$	43
Tableau IV-6: tableau de l'efficacité énergétique et après que $P=130\text{ bar}$	44
Tableau IV-7: tableau de l'efficacité énergétique après que $P=140\text{ bar}$	45
Tableau IV-8: tableau de l'efficacité énergétique après que $P=150\text{ bar}$	46
Tableau IV-9 : tableau de l'efficacité énergétique après que $P=160\text{ bar}$	47
Tableau IV-10: tableau de l'efficacité énergétique après que $P=160\text{ bar}$ et $T = 580^{\circ}\text{C}$..	48
Tableau IV-11: tableau de l'efficacité énergétique après l'ajout du soutirage.....	50
Tableau IV-12: tableau de l'efficacité énergétique et après l'ajout du soutirage ainsi que $T=580^{\circ}\text{C}$	51
Tableau IV-13: tableau de l'efficacité énergétique et après l'ajout du soutirage ainsi que $P =160\text{ bar}$	52
Tableau IV-14: tableau de l'efficacité énergétique et après l'ajout du soutirage ainsi que $T=580^{\circ}\text{C}$ et $P= 160\text{ bar}$	53
Tableau IV-15 : Le rendement obtenu après l'optimisation.....	53
Tableau IV-16 : Résultats de rendement en fonction de pression et de température.....	54

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Nomenclature	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Introduction genirale	1
Chapitre I: Systèmes énergétiques et modélisation	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition du système énergétique.....	3
I.3 Les différents systèmes énergétiques	3
I.3.1 Le système thermique	4
I.3.2 Le système hydraulique	8
I.4 Conclusion.....	11
Chapitre II: Optimisation industrielle des systèmes énergétiques	
II.1 Introduction.....	12
II.2 Définition d'optimisation d'un système énergétique industrielle.....	12
II.3 L'importance de l'optimisation industrielle dans la gestion des systèmes énergétiques	12
II.4 Les méthodes d'optimisation.....	13
II.4.1. La méthode de la recherche exhaustive.....	13
II.4.2 La méthode des gradients	14
II.4.3 La méthode des contraintes	14
II.4.4 La méthode heuristique	15
II.4.5 La méthode d'optimisation multi-objective	16
II.5 L'optimisation de déférents systèmes énergétiques	16
II.5.1 L'optimisation d'un système thermique	16
II.5.2 L'optimisation d'un système hydraulique.....	17
II.6 Analyse de sensibilité.....	18
II.9 Conclusion	19

Chapitre III : Analyse thermodynamique

III.1 Rappel thermodynamique.....	20
III.1.1 Premier principe de thermodynamique pour un système fermé.....	20
III.1.1 Premier principe de thermodynamique pour un système ouvert	20
III.3 Application pour différents éléments du cycle	21
III.3.1 La pompe.....	21
III.3.2 La chaudière... ..	22
III.3.3 La turbine haute et basse pression	23
III.3.4 Condenseur	24
III.3.5 L'échangeur de chaleur.....	25
III.3.6 Le désaérateur (dégazeur).....	26
III.3 Les performances thermodynamiques du système.....	26
III.3 La méthode de calcul du Cycle Tempo	27

Chapitre IV : Modélisation, configuration et optimisation

IV.1 Introduction.....	30
IV.2 Modélisation et configuration	31
IV.2.1 Configuration sous logiciel Cycle-Tempo.....	31
IV.2.2 Configuration sous logiciel Cycle pad.....	34
IV.3 Application, optimisation et Analyse de sensibilité	36
IV.3.1 Résultat de la centrale à vapeur trouvez avec cycle-tempo	37
IV.3.2 Résultat d'analyse de sensibilité	38
IV.3.3 Discussions des résultats.....	53
IV.4 Conclusion.....	57
Conclusion générale.....	58

Références Bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Dans notre société moderne, les systèmes énergétiques jouent un rôle essentiel en fournissant l'énergie nécessaire pour alimenter les infrastructures, les transports, l'industrie et les foyers. Toutefois, la demande croissante en énergie et les préoccupations environnementales imposent un impératif d'optimisation de ces systèmes afin de les rendre plus efficaces et durables, tout en minimisant leur impact sur l'environnement.

Désormais, la communauté scientifique reconnaît le changement climatique comme une réalité et un phénomène planétaire, touchant tous les continents. Depuis le début de l'ère industrielle, nous avons constaté une augmentation d'environ 1°C de la température globale moyenne à la surface de la Terre, qui continue à augmenter de manière accélérée. [1] Cette réalité exige une prise de conscience et une action urgente pour limiter les conséquences néfastes du réchauffement climatique.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous focaliserons spécifiquement sur l'optimisation d'une centrale à vapeur, mettant en avant l'amélioration de son rendement. Les centrales à vapeur sont largement utilisées dans diverses industries pour produire de l'électricité, fournir du chauffage et soutenir des processus industriels. L'objectif principal de cette étude est d'explorer les possibilités d'amélioration du rendement de cette centrale en utilisant le logiciel Cycle-Tempo.

Afin de parvenir à cet objectif, dans le premier chapitre nous commencerons par présenter les fondements théoriques des systèmes énergétiques et de leur modélisation. Nous fournirons un aperçu des différents types de systèmes énergétiques, tels que les systèmes thermiques, hydrauliques, pneumatiques, mécaniques et hybrides, en mettant en évidence leurs caractéristiques, avantages et inconvénients ainsi que leurs équations de modélisation.

Par la suite, dans le deuxième chapitre nous aborderons l'importance de l'optimisation industrielle dans la gestion des systèmes énergétiques, en présentant différentes méthodes d'optimisation adaptées à chaque type de système. Nous soulignerons l'impact de ces approches sur l'amélioration du rendement énergétique, la réduction des coûts et la minimisation de l'impact environnemental.

Enfin, le troisième chapitre va se concentrer sur l'optimisation de la centrale à vapeur de Achouat Jijel. Nous décrirons en détail les étapes de modélisation, de configuration et d'optimisation du cycle afin d'améliorer son rendement. De plus, nous analyserons les effets de la variation de pression et de température sur le rendement de la centrale, mettant en évidence les opportunités d'augmentation du rendement et de réduction de la consommation d'énergie. Dans cette optique, nous explorerons également l'ajout d'un soutirage supplémentaire pour

optimiser davantage les performances de la centrale.

Cette étude vise à contribuer à l'amélioration de rendement des centrales à vapeur, ce qui permettrait de maximiser le rendement et de minimiser l'impact environnemental.

Chapitre I

Systemes énergétiques et modélisation

I.1 Introduction

Ce premier chapitre donne un aperçu des systèmes énergétiques et de leur modélisation. Nous explorerons les différents types de systèmes énergétiques, tels que les systèmes thermiques, hydrauliques, mécaniques, hybrides et pneumatiques. Ensuite, nous discuterons des équations mathématiques utilisées pour modéliser les performances de chaque système, ainsi que des hypothèses simplificatrices fréquemment utilisées. Enfin, nous soulignerons l'importance de comprendre ces systèmes et leur modélisation pour optimiser leur efficacité énergétique.

I.2 Définition du système énergétique

Le système énergétique est un ensemble complexe d'infrastructures, de technologies et de règles qui permettent la production, la transformation, la distribution et la consommation de l'énergie nécessaire pour alimenter les besoins de la société. Le système énergétique comprend toutes les sources d'énergie, telles que les combustibles fossiles, les énergies renouvelables (solaires, éoliennes, hydrauliques, géothermiques, etc.), ainsi que les technologies associées à leur utilisation (centrales électriques, réseaux de transport, bâtiments, véhicules, etc.). Le système énergétique est étroitement lié aux enjeux environnementaux, économiques et sociaux. Les choix que nous faisons en matière de production et de consommation d'énergie ont un impact sur les émissions de gaz à effet de serre, la qualité de l'air, la sécurité énergétique, la compétitivité économique et la qualité de vie des populations. En résumé, le système énergétique est l'ensemble des infrastructures, des technologies et des règles qui permettent de produire, transformer, transporter et consommer de l'énergie afin de répondre aux besoins de la société tout en préservant l'environnement et en garantissant la sécurité énergétique. [2]

I.3 Les différents systèmes énergétiques

Il existe une grande variété de systèmes énergétiques, chacun avec ses propres avantages et inconvénients. Parmi les systèmes les plus courants, on peut citer le système thermique, qui utilise des combustibles fossiles pour générer de la chaleur et produire de l'électricité, le système hydraulique, qui exploite l'énergie de l'eau pour alimenter des turbines et générer de l'électricité, le système mécanique, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, le système pneumatique, qui utilise de l'air comprimé pour alimenter des machines, le système hybride, qui combine plusieurs sources d'énergie pour répondre aux besoins de consommation.

Nous allons examiner chacun de ces systèmes en profondeur, Nous fournirons des exemples réels pour mieux illustrer leurs fonctionnements et leur utilisation en explorant leurs

caractéristiques, leurs avantages et leurs inconvénients, ainsi que les équations de modélisation qui les décrivent. [2]

I.3.1 Le système thermique

C'est un ensemble d'éléments et de composants qui fonctionnent ensemble pour échanger, produire, stocker, transporter ou utiliser de l'énergie thermique (chaleur). Ils peuvent être utilisés dans de nombreuses applications, telles que le chauffage, la climatisation, la production d'énergie électrique, la transformation alimentaire, etc.

Le fonctionnement de ce système implique généralement la conversion de l'énergie thermique d'une forme à une autre, par exemple, la conversion de la chaleur en électricité à l'aide d'une centrale thermique. Les systèmes thermiques peuvent être alimentés par différentes sources d'énergie, telles que le gaz naturel, le charbon, le pétrole, le bois, le solaire, la géothermie, etc.

Ces composants comprennent souvent des échangeurs de chaleur, des tuyaux, des pompes, des compresseurs, des turbines, des générateurs, des réservoirs de stockage, des régulateurs de température, des capteurs, etc. La conception et l'optimisation des systèmes thermiques sont souvent basées sur des principes de thermodynamique, de mécanique des fluides et d'autres sciences connexes. [3]

I.3.1.1 Le système de production de vapeur pour les processus industriels

C'est un type de système thermique qui utilise la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz naturel ou le pétrole pour produire de la vapeur haute pression. Cette vapeur est utilisée pour alimenter des turbines qui génèrent de l'électricité ou pour des processus industriels qui nécessitent de la chaleur et de la vapeur.

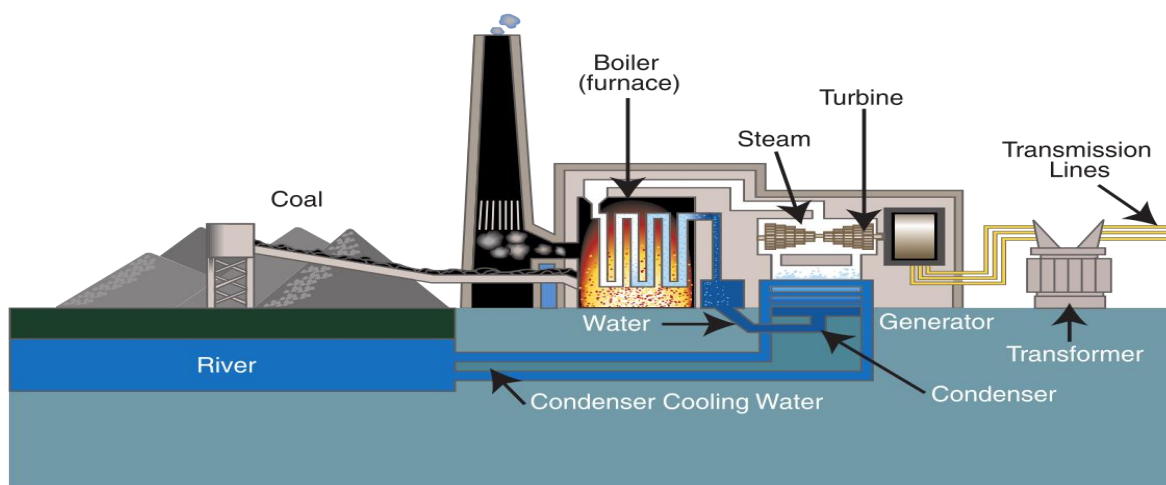


Figure I.1 : Schéma d'une centrale électrique au charbon.

Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Utilise des combustibles fossiles pour produire de la vapeur haute pression. - Peut être utilisé pour la production d'électricité ou pour des processus industriels nécessitant de la chaleur et de la vapeur. 	<ul style="list-style-type: none"> -Peut produire de grandes quantités de vapeur et d'électricité en continu. -Peut être utilisé pour répondre à la demande d'énergie de pointe. -Peut fonctionner indépendamment des conditions météorologiques comme les sources d'énergie renouvelable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Produit des émissions de gaz à effet de serre et de polluants, ce qui peut contribuer au changement climatique et à la pollution de l'air. -Les centrales thermiques à combustibles fossiles sont confrontées à des pressions croissantes pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à investir dans des sources d'énergie plus propres. -Coût élevé de construction et d'exploitation de la centrale thermique.

I.3.1.1.1 Les équations de modélisation

Les équations utilisées pour modéliser les systèmes de production de vapeur peuvent varier en fonction de la complexité du système et des variables prises en compte. Cependant, voici quelques équations couramment utilisées dans la modélisation de base :

1. Loi de conservation de la masse:

La loi de conservation de la masse stipule que la quantité de masse entrant dans un système est égale à la quantité de masse sortant du système, plus la quantité de masse accumulée dans le système. Pour un système de production de vapeur, cette équation peut être écrite comme suit :

$$m_e h_e = m_s h_s + m_{acc} h_{acc} + Q$$

Équation de conservation de l'énergie

L'équation de conservation de l'énergie stipule que l'énergie totale dans un système est égale à l'énergie entrant dans le système, moins l'énergie sortant du système, plus l'énergie accumulée dans le système. Cette équation peut être utilisée pour modéliser la production de vapeur, comme suit:

$$m_e h_e + Q_e = m_s h_s + Q_s + m_{acc} h_{acc} + Q_{acc} + W$$

I.3.1.2 Le système de chauffage et de refroidissement pour les bâtiments

Également connu sous le nom de chauffage urbain, est un système qui permet de fournir de l'énergie thermique pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments, en particulier dans les zones urbaines denses. Ce système utilise souvent des réseaux de distribution d'eau chaude ou froide pour transférer l'énergie thermique d'une centrale de production à des bâtiments à distance.

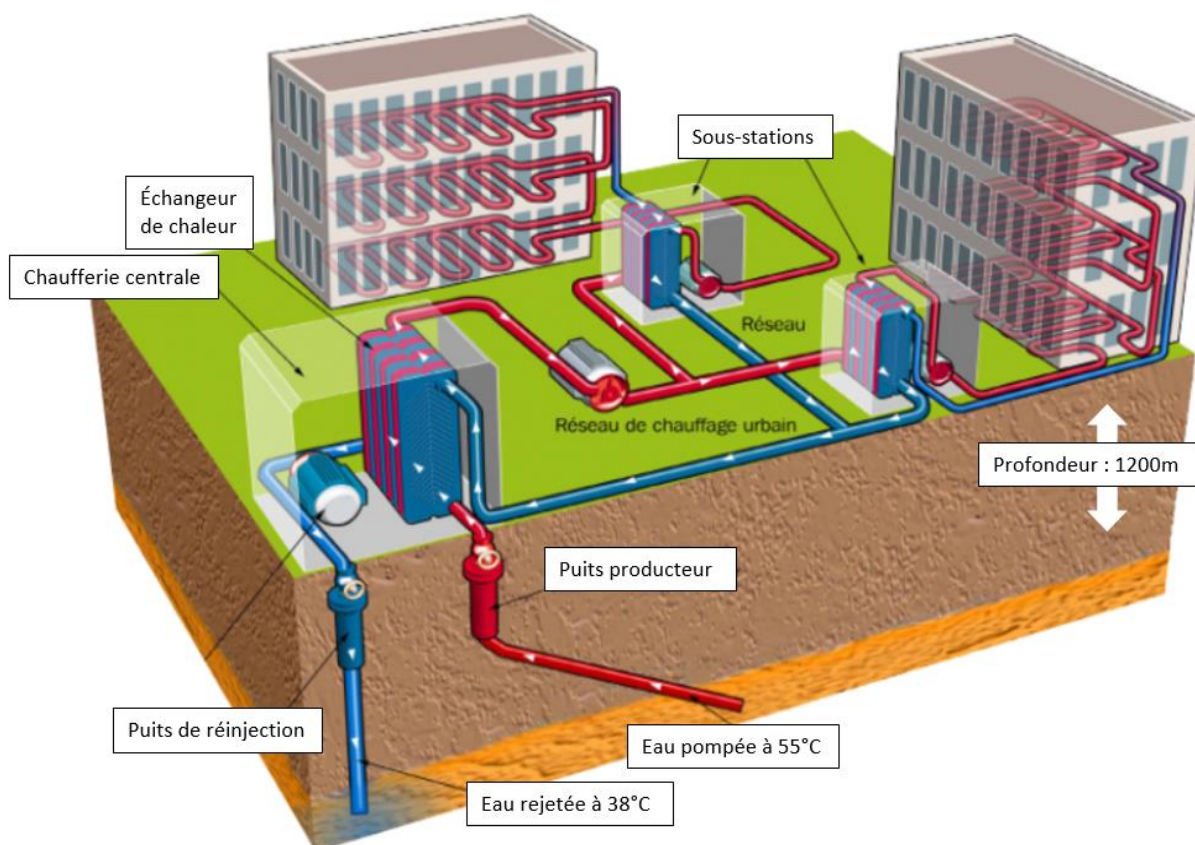


Figure I.2 : Le réseau de chauffage urbain en géothermie

Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
<p>-Permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre en utilisant des sources d'énergie renouvelables ou de récupération.</p> <p>-Peut réduire les coûts énergétiques pour les utilisateurs finaux grâce à l'économie d'échelle.</p> <p>- Nécessite des infrastructures de distribution sophistiquées, ce qui peut entraîner des coûts élevés de construction et d'entretien.</p>	<p>- Permet de maintenir une température confortable à l'intérieur des bâtiments, ce qui est important pour la santé et le bien-être des occupants.</p> <p>-Peut fonctionner indépendamment des conditions météorologiques comme les sources d'énergie renouvelable.</p> <p>-Contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre en utilisant des sources d'énergie renouvelables et en améliorant l'efficacité énergétique.</p>	<p>- Nécessite des investissements initiaux importants pour l'installation des équipements et des conduits, ainsi que pour l'entretien et la réparation.</p> <p>- Peut générer des émissions polluantes en fonction de la source d'énergie utilisée, comme les émissions de gaz à effet de serre pour les combustibles fossiles.</p> <p>-Peut nécessiter une régulation et une maintenance régulières pour assurer un fonctionnement efficace et éviter les pannes.</p>

Les équations de modélisation

Ces équations sont généralement complexes et dépendent de nombreux facteurs, tels que les propriétés thermiques des matériaux de construction, les caractéristiques du système de chauffage et de refroidissement, les conditions météorologiques, etc.

Voici quelques exemples d'équations couramment utilisées pour modéliser les systèmes de chauffage et de refroidissement des bâtiments :

1. Équation de transfert de chaleur :

$$Q = UA (T_1 - T_2)$$

- 2.Équation de la loi de refroidissement de Newton :

$$Q = hA(T_1 - T_2)$$

I.3.2 Le système hydraulique

C'est un moyen efficace de transmettre de la puissance dans de nombreuses applications industrielles et mécaniques. Il utilise un liquide incompressible, tel que l'huile hydraulique, pour transmettre la force et la puissance de la source d'énergie, comme une pompe hydraulique, vers un mécanisme de travail, tel qu'un vérin hydraulique ou un moteur hydraulique.

Le liquide hydraulique est utilisé car il ne peut pas être comprimé, ce qui permet d'obtenir une transmission de puissance plus efficace et constante. Les systèmes hydrauliques sont également connus pour leur grande précision de contrôle et leur capacité à fournir des mouvements linéaires et rotatifs.

Les composants des systèmes hydrauliques comprennent des pompes, des réservoirs, des filtres, des tuyaux, des actionneurs hydrauliques tels que les vérins et les moteurs, et des valves pour contrôler le débit de liquide. Les systèmes hydrauliques sont couramment utilisés dans les machines de construction, les avions, les voitures, les équipements industriels et de nombreux autres domaines. [4]

I.3.2.1 Le système de production d'énergie hydraulique

Il permet de convertir l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique utilisable. La centrale hydroélectrique est l'un des systèmes les plus courants, qui utilise la force de l'eau qui s'écoule dans une rivière ou un canal pour faire tourner des turbines qui génèrent de l'électricité. Le système se compose généralement d'une prise d'eau, de turbines, de générateurs et d'une ligne de transmission électrique. Les centrales hydroélectriques sont plus petites que les barrages hydroélectriques, mais elles peuvent être installées dans de nombreux endroits différents et produisent de l'électricité de manière continue.

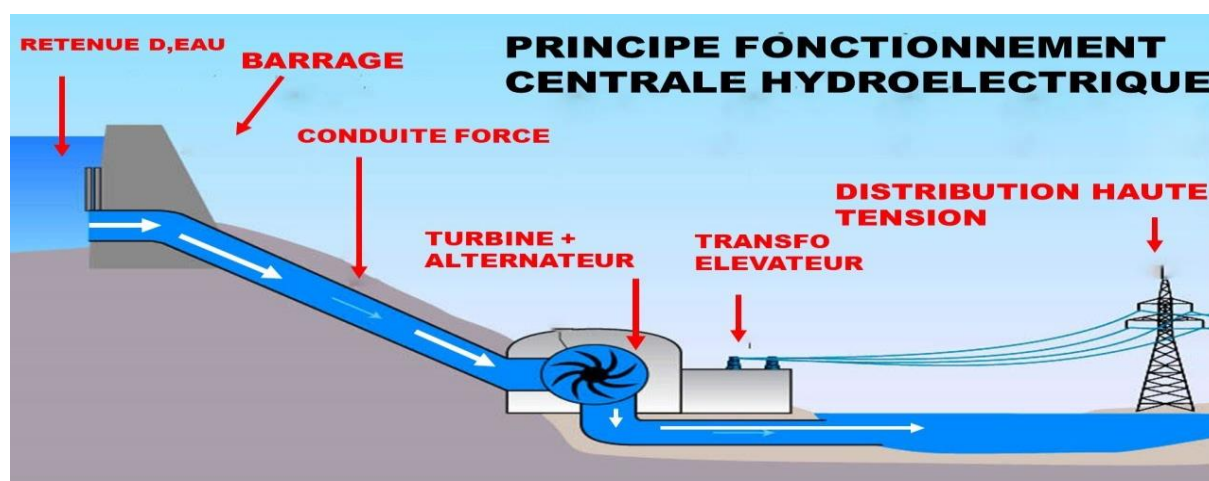


Figure I.3 : schéma d'une centrale hydraulique.

Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Le système utilise l'eau comme source d'énergie renouvelable pour produire de l'électricité de manière continue et fiable. - Le système est capable de produire de grandes quantités d'électricité pour répondre à la demande en énergie d'une population donnée. - Le système peut être utilisé pour réguler les débits d'eau en aval et pour contrôler les crues. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il utilise une source d'énergie renouvelable et propre pour produire de l'électricité, ce qui permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de lutter contre le changement climatique. - Il peut être utilisé pour réguler les débits d'eau en aval et pour prévenir les crues, ce qui contribue à la gestion durable des ressources en eau. - Il permet de fournir de l'électricité de manière continue et fiable, ce qui est important pour les industries et les ménages qui dépendent de l'électricité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il peut avoir des impacts environnementaux, tels que la destruction des habitats naturels, la perturbation des écosystèmes aquatiques et la modification des régimes de débits d'eau. - Il peut être coûteux à construire et à entretenir, ce qui peut limiter son accessibilité pour les communautés rurales ou pauvres. - Il peut être vulnérable aux pannes de courant ou aux accidents, ce qui peut affecter la production d'électricité.

I.3.2.2 Le système de pompage d'eau pour l'irrigation

C'est un ensemble de composants mécaniques, électriques et hydrauliques qui permettent de puiser de l'eau d'une source telle qu'un puits, une rivière ou un réservoir, et de la distribuer dans un réseau d'irrigation pour arroser les cultures. Ce système est équipé d'une pompe qui peut être actionnée par différents types de moteurs tels qu'un moteur électrique, diesel ou à essence. La puissance de la pompe ainsi que la hauteur de refoulement dépendent de la distance entre la source d'eau et les points d'irrigation, ainsi que du débit requis pour l'irrigation des cultures.

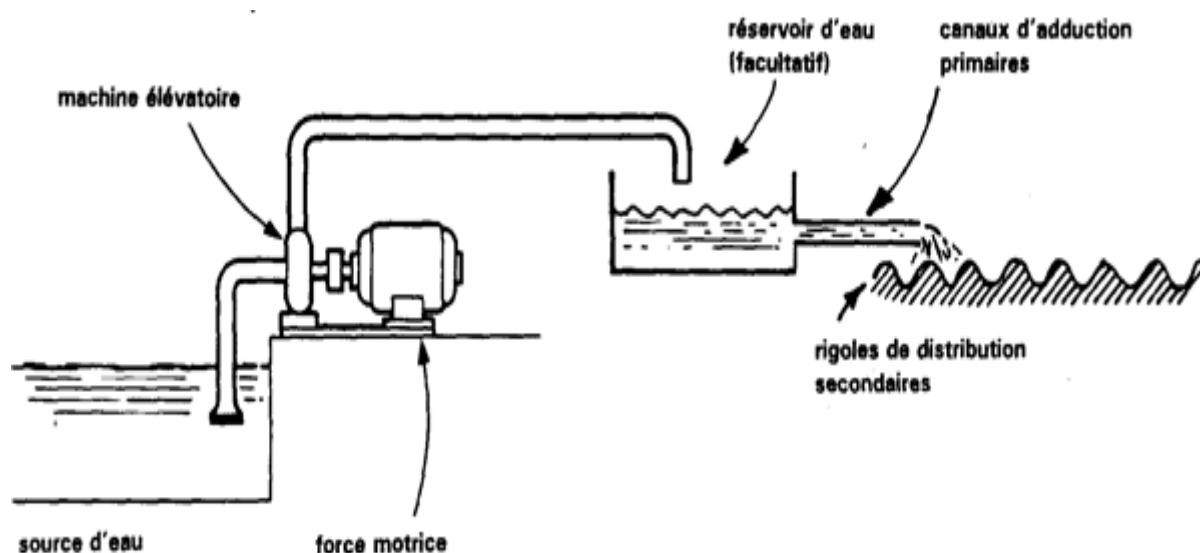


Figure I.4 : Schéma système de pompage d'eau pour l'irrigation

Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Un système de pompage d'eau pour l'irrigation est composé d'une pompe, d'un moteur, d'un réservoir, de tuyaux, d'arroseurs, d'un régulateur de pression et d'un système de commande. - Le débit, la hauteur de refoulement et la puissance de la pompe dépendent des besoins en eau des cultures et de la distance entre la source d'eau et les points d'irrigation. - Les systèmes peuvent fonctionner avec différents types de sources d'eau telles que les puits, les rivières, les lacs ou les réservoirs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le système de pompage d'eau pour l'irrigation permet une distribution efficace de l'eau aux cultures, ce qui peut augmenter la productivité et la qualité des cultures. - Il peut fonctionner de manière autonome, ce qui est particulièrement utile dans les zones éloignées où l'accès à l'eau est limité. -Le système peut être conçu pour minimiser les pertes d'eau par évaporation ou par infiltration dans le sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le coût initial d'installation peut être élevé. - L'utilisation excessive de l'eau peut entraîner une surexploitation des ressources hydriques locales. -Les systèmes de pompage peuvent être bruyants et nécessitent une maintenance régulière pour assurer leur bon fonctionnement.

I.4 Conclusion

Le premier chapitre de ce mémoire nous a permis de comprendre les différents types de systèmes énergétiques, tels que les systèmes thermiques, hydrauliques, mécaniques, hybrides et pneumatiques, ainsi que leurs caractéristiques et les avantages et les inconvénients associés à leur utilisation. Cette compréhension est essentielle pour choisir le système énergétique le plus adapté à une application donnée et pour l'optimiser en vue de maximiser son efficacité. En conclusion, ce chapitre nous a permis de prendre conscience de l'importance de comprendre les différents types de systèmes énergétiques et leur modélisation pour relever les défis actuels de l'énergie, tels que la demande croissante en énergie et les préoccupations environnementales.

Chapitre II

Optimisation industrielle des systèmes énergétiques

II.1 Introduction

L'optimisation industrielle des systèmes énergétiques, cruciale face à la croissance des besoins et aux impératifs environnementaux, se profile comme une solution majeure. Ce chapitre explore diverses méthodes, notamment les algorithmes génétiques, les essaims de particules et les réseaux de neurones, pour maximiser les performances des systèmes, de la production d'énergie thermique au stockage d'énergie. Des logiciels de simulation complètent cette approche. Des études qui démontrent une réduction significative des coûts, renforçant ainsi le rôle crucial de l'optimisation industrielle dans l'efficacité énergétique et la réduction de l'impact environnemental.

II.2 Définition d'optimisation d'un système énergétique industrielle

L'optimisation des systèmes énergétiques industriels vise à améliorer leur efficacité par l'utilisation d'outils d'ingénierie et d'analyse, minimisant la consommation d'énergie tout en maximisant la production. Cela englobe l'optimisation de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie pour réduire les coûts. Des mesures telles que l'installation d'équipements plus efficaces et l'utilisation de technologies de récupération d'énergie sont intégrées. Les techniques d'optimisation, comme l'analyse de données, la modélisation et la simulation, identifient les points faibles et les opportunités d'amélioration. La mise en œuvre de stratégies de gestion de l'énergie vise à optimiser la production et la consommation d'énergie. [5]

II.3 L'importance de l'optimisation industrielle dans la gestion des systèmes énergétiques

L'optimisation industrielle revêt une importance cruciale dans la gestion des systèmes énergétiques, visant à améliorer leur efficacité, réduire les coûts et limiter l'impact environnemental. Elle identifie les paramètres optimaux, tels que les flux d'énergie, la température, la pression, et les contraintes de matériaux, alignés sur des objectifs spécifiques tels que la maximisation de la production énergétique ou la minimisation des coûts opérationnels. Diverses méthodes, dont les algorithmes génétiques, les essaims de particules, et les réseaux de neurones, sont employées pour des systèmes allant de la production thermique au stockage d'énergie. Les logiciels de simulation complètent ces approches en modélisant le comportement des systèmes énergétiques et en optimisant leur performance. [5]

II.4 Les méthodes d'optimisation

Il existe différentes méthodes d'optimisation industrielle qui sont utilisées pour améliorer la performance des systèmes énergétiques. Ces méthodes sont basées sur des algorithmes mathématiques qui permettent de résoudre des problèmes d'optimisation complexes. Le choix de la méthode d'optimisation dépendra du type de problème, des ressources disponibles et des critères de performance à optimiser.

Voici quelques-unes des méthodes d'optimisation les plus courantes :

II.4.1. La méthode de la recherche exhaustive

La méthode de recherche exhaustive, également appelée méthode brute-force, est une technique d'optimisation qui consiste à énumérer systématiquement toutes les solutions possibles d'un problème afin de trouver la solution optimale. Cette méthode est considérée comme l'une des plus simples et les plus faciles à comprendre, mais elle peut être très coûteuse en termes de temps de calcul, en particulier pour les grands ensembles de solutions. Cette méthode est souvent utilisée lorsque le nombre de solutions possibles est relativement petit ou lorsque la recherche de la solution optimale est critique et qu'il n'y a pas de méthode plus efficace pour la trouver. Cependant, cette méthode est souvent moins utilisée que d'autres techniques plus sophistiquées telles que la programmation linéaire, la méthode des contraintes ou l'optimisation heuristique. [6]

Avantages	Inconvénients
<p>-La méthode de recherche exhaustive garantit la recherche de la solution optimale, si elle existe.</p> <p>-La méthode est facile à comprendre et à mettre en œuvre.</p> <p>-La méthode ne nécessite pas de connaissances approfondies en mathématiques ou en algorithmes.</p>	<p>-La méthode est très coûteuse en termes de temps de calcul, surtout pour les grands ensembles de solutions.</p> <p>-Le temps de calcul augmente rapidement avec le nombre de variables à optimiser.</p> <p>-La méthode n'est pas adaptée aux problèmes non linéaires, car la complexité augmente de manière exponentielle avec le nombre de variables.</p>

II.4.2 La méthode des gradients

La méthode des gradients, ou descente de gradient, est une technique couramment utilisée en optimisation continue pour trouver le minimum local d'une fonction. Elle consiste à trouver la direction de descente la plus rapide de la fonction en un point donné, puis à mettre à jour ce point en fonction de cette direction. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'un minimum local soit atteint. La méthode des gradients est considérée comme l'une des méthodes les plus simples et les plus rapides pour trouver un minimum local, mais elle peut être sensible aux points initiaux et aux choix de taux d'apprentissage. Elle est souvent utilisée dans des applications telles que l'apprentissage automatique et la reconnaissance de formes. [7]

Avantages	Inconvénients
<p>-La méthode des gradients peut être très rapide pour trouver le minimum local d'une fonction si la fonction est bien conditionnée et le point initial est bien choisi.</p> <p>-La méthode est relativement facile à comprendre et à mettre en œuvre.</p> <p>- La méthode est très utile pour les problèmes d'optimisation non linéaires.</p>	<p>-La méthode des gradients peut ne pas converger si la fonction est mal conditionnée ou si le point initial est mal choisi.</p> <p>-La méthode peut se bloquer dans des minimas locaux qui ne sont pas optimaux.</p> <p>-La méthode peut nécessiter beaucoup d'itérations pour atteindre le minimum local.</p>

II.4.3 La méthode des contraintes

C'est une technique d'optimisation qui permet de résoudre des problèmes d'optimisation où des contraintes doivent être respectées. Cette méthode consiste à trouver le minimum ou le maximum d'une fonction sous des contraintes spécifiques, telles que des limites sur les variables de décision ou des équations décrivant les relations entre ces variables.

Pour résoudre un problème d'optimisation avec des contraintes, la méthode des contraintes utilise une approche itérative où une solution est proposée, puis évaluée pour déterminer si elle respecte les contraintes imposées. Si les contraintes sont respectées, la solution est considérée comme valide et le processus se poursuit pour trouver la solution optimale. Si les contraintes ne sont pas satisfaites, la méthode modifie les valeurs des variables de décision pour les ramener dans les limites imposées. [7]

Avantages	Inconvénients
<p>- La méthode des contraintes est très utile pour résoudre des problèmes d'optimisation avec des contraintes, qui sont très courants dans les applications industrielles.</p> <p>-La méthode peut être utilisée pour trouver la solution optimale même lorsque la fonction objective et les contraintes sont non linéaires.</p> <p>-La méthode est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre.</p>	<p>-La méthode des contraintes peut être très coûteuse en termes de calculs lorsqu'il y a de nombreuses contraintes.</p> <p>-La méthode peut ne pas converger si les contraintes sont mal spécifiées ou mal conditionnées.</p> <p>-La méthode peut ne pas être en mesure de trouver la solution optimale dans les cas où il y a des contraintes fortes ou des points de selle.</p>

II.4.4 La méthode heuristique

La méthode heuristique est une approche d'optimisation qui s'appuie sur des techniques de recherche empirique plutôt que sur des algorithmes formels pour trouver des solutions approximatives à des problèmes d'optimisation. Cette méthode consiste à explorer l'espace des solutions en utilisant des heuristiques, c'est-à-dire des règles simples qui guident la recherche vers des zones plus prometteuses de l'espace des solutions. L'idée est d'obtenir une solution qui se rapproche de l'optimum global, tout en évitant l'examen exhaustif de toutes les solutions possibles qui peut être très coûteux en termes de temps de calcul.

Les heuristiques sont souvent basées sur l'expérience et les connaissances des experts, et peuvent inclure des techniques telles que la recherche locale, la recherche en profondeur, la recherche tabou, l'évaluation des voisins, ou la simulation de recuit. [8]

Avantages	Inconvénients
<p>La méthode heuristique est très utile pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes pour lesquels il n'existe pas de méthodes exactes connues ou pour lesquels les méthodes exactes prennent trop de temps.</p> <p>-Elle peut être adaptée à différents types de problèmes et peut être utilisée pour des problèmes avec des fonctions objectifs non linéaires et des contraintes non convexes</p>	<p>-La méthode heuristique ne garantit pas de trouver la solution optimale et peut produire des résultats approximatifs.</p> <p>-La méthode peut être très sensible aux conditions initiales et peut donner des résultats différents pour différentes initialisations.</p>

II.4.5 La méthode d'optimisation multi-objective

La méthode d'optimisation multi-objective est une approche qui permet de résoudre des problèmes impliquant plusieurs critères d'optimisation simultanés. Elle est utilisée lorsque les objectifs à atteindre sont contradictoires ou lorsque les décisions doivent prendre en compte plusieurs aspects du problème. Par exemple, dans le domaine de la gestion de l'énergie, l'optimisation peut être nécessaire pour maximiser à la fois la production d'énergie et la qualité de l'air. La méthode d'optimisations multi-objectives permet de déterminer les compromis entre les différents critères d'optimisation, afin de trouver des solutions qui sont les plus satisfaisantes pour tous les objectifs concernés. [9]

Avantages	Inconvénients
<p>-Cette méthode permet de prendre en compte plusieurs critères en même temps.</p>	<p>-Elle nécessite une définition claire et précise des objectifs à atteindre.</p>
<p>-Elle permet de trouver des solutions qui répondent à des besoins différents et souvent contradictoires.</p>	<p>-Elle peut être difficile à appliquer dans des systèmes complexes avec de nombreux paramètres.</p>
<p>-Elle offre une meilleure compréhension de l'ensemble des solutions possibles.</p>	<p>-Elle peut générer un grand nombre de solutions potentielles qui nécessitent une analyse approfondie.</p>

II.5 L'optimisation de différents systèmes énergétiques

II.5.1 L'optimisation d'un système thermique

L'optimisation d'un système thermique consiste à améliorer l'efficacité énergétique du système, c'est-à-dire à maximiser la production de chaleur ou de froid tout en minimisant la consommation d'énergie et les coûts d'exploitation. Cela peut inclure l'optimisation des équipements thermiques tels que les chaudières, les échangeurs de chaleur, les turbines, les compresseurs, les pompes, les réfrigérateurs, les climatiseurs, etc., ainsi que l'optimisation des procédés de production qui utilisent de la chaleur ou du froid. Les techniques d'optimisation peuvent inclure l'utilisation de modèles mathématiques, la simulation informatique, l'analyse de données, l'optimisation en temps réel, la régulation et le contrôle avancé, et l'optimisation de la maintenance et de la gestion du système. L'objectif final de l'optimisation d'un système thermique est d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les coûts d'exploitation et de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

II.5.1.1 Les méthodes d'optimisation d'un système thermique

Il existe plusieurs méthodes d'optimisation pour les systèmes thermiques, voici quelques-unes des plus courantes :

1. L'analyse thermodynamique : Cette méthode consiste à évaluer la performance énergétique du système thermique à l'aide de lois de la thermodynamique. Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés pour identifier les zones de pertes d'énergie et les opportunités d'amélioration de la performance.
2. La modélisation et la simulation informatique : Cette méthode consiste à créer un modèle mathématique du système thermique et à simuler son comportement pour évaluer les performances et identifier les possibilités d'optimisation.
3. L'optimisation par recherche directe : Cette méthode utilise des algorithmes de recherche pour trouver la meilleure combinaison de paramètres de fonctionnement du système thermique pour maximiser la performance énergétique, tels que l'utilisation de l'algorithme de Nelder- Mead ou de la méthode du gradient.
4. L'optimisation multi-objective : Cette méthode est utilisée lorsque plusieurs objectifs doivent être pris en compte en même temps, tels que la maximisation de la performance énergétique et la minimisation des coûts. Elle consiste à trouver un ensemble de solutions optimales qui représentent un compromis entre les différents objectifs.
5. L'optimisation par algorithme génétique : Cette méthode s'inspire de la théorie de l'évolution et utilise une approche de sélection naturelle pour trouver la meilleure combinaison de paramètres de fonctionnement pour le système thermique.
6. L'optimisation en temps réel : Cette méthode utilise des techniques de régulation et de contrôle avancées pour ajuster les paramètres de fonctionnement du système thermique en temps réel afin de maximiser la performance énergétique. [10]

II.5.2 L'optimisation d'un système hydraulique

L'optimisation des systèmes hydrauliques implique souvent l'analyse de la conception du système, de la qualité des fluides utilisés, des équipements utilisés, des modes de contrôle, des régulateurs et de la maintenance du système. Les techniques d'optimisation peuvent inclure l'utilisation de modèles mathématiques et de simulations pour évaluer les performances du système, l'utilisation d'équipements plus efficaces et la mise en œuvre de stratégies de contrôle avancées pour minimiser les pertes d'énergie. Les avantages de l'optimisation d'un système

hydraulique peuvent inclure une meilleure efficacité énergétique, une plus grande fiabilité et une durée de vie prolongée des équipements. [10]

II.5.1.1 Les différentes méthodes d'optimisations d'un système hydraulique

Il existe plusieurs méthodes d'optimisation pour les systèmes hydrauliques, voici quelques-unes des plus courantes :

1. **Optimisation de la conception** : Cette méthode implique l'analyse de la conception du système hydraulique pour améliorer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité. Cela peut inclure l'utilisation de modèles mathématiques pour évaluer les performances du système et identifier les opportunités d'optimisation.
2. **Optimisation de la qualité du fluide** : Cette méthode consiste à maintenir la qualité du fluide hydraulique en utilisant des filtres et des lubrifiants appropriés, ainsi qu'en effectuant régulièrement des tests de qualité pour détecter les contaminations et les impuretés. Cela aide à améliorer la performance et la durée de vie des équipements hydrauliques.
3. **Optimisation des équipements** : Cette méthode implique l'utilisation d'équipements plus efficaces, tels que des pompes et des moteurs hydrauliques à haut rendement, pour réduire les pertes d'énergie. L'utilisation de vannes proportionnelles et de serve vanne peut également améliorer la précision et la réactivité du système hydraulique.
4. **Optimisation des stratégies de contrôle** : Cette méthode consiste à utiliser des stratégies de contrôle avancées pour minimiser les pertes d'énergie dans le système hydraulique. Cela peut inclure l'utilisation de régulateurs de pression et de débit, de régulateurs de charge et de stratégies de contrôle de position pour minimiser les pertes de charge et les pertes de puissance.
5. **Optimisation de la maintenance** : Cette méthode implique une maintenance régulière du système hydraulique pour garantir un fonctionnement optimal et prolonger la durée de vie des équipements. Cela peut inclure des inspections régulières, des réparations et des remplacements d'équipements, ainsi que des programmes de lubrification et de nettoyage pour maintenir la qualité du fluide hydraulique.

II.6 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité d'un système énergétique en mécanique joue un rôle crucial dans la compréhension de son comportement face à des variations de paramètres clés. Cette méthode

permet d'évaluer l'impact des changements de ces paramètres sur les performances et la stabilité du système. En identifiant les facteurs les plus influents, l'analyse de sensibilité aide les ingénieurs à prendre des décisions éclairées pour optimiser la conception, améliorer l'efficacité énergétique et anticiper les risques potentiels liés à ces variations.

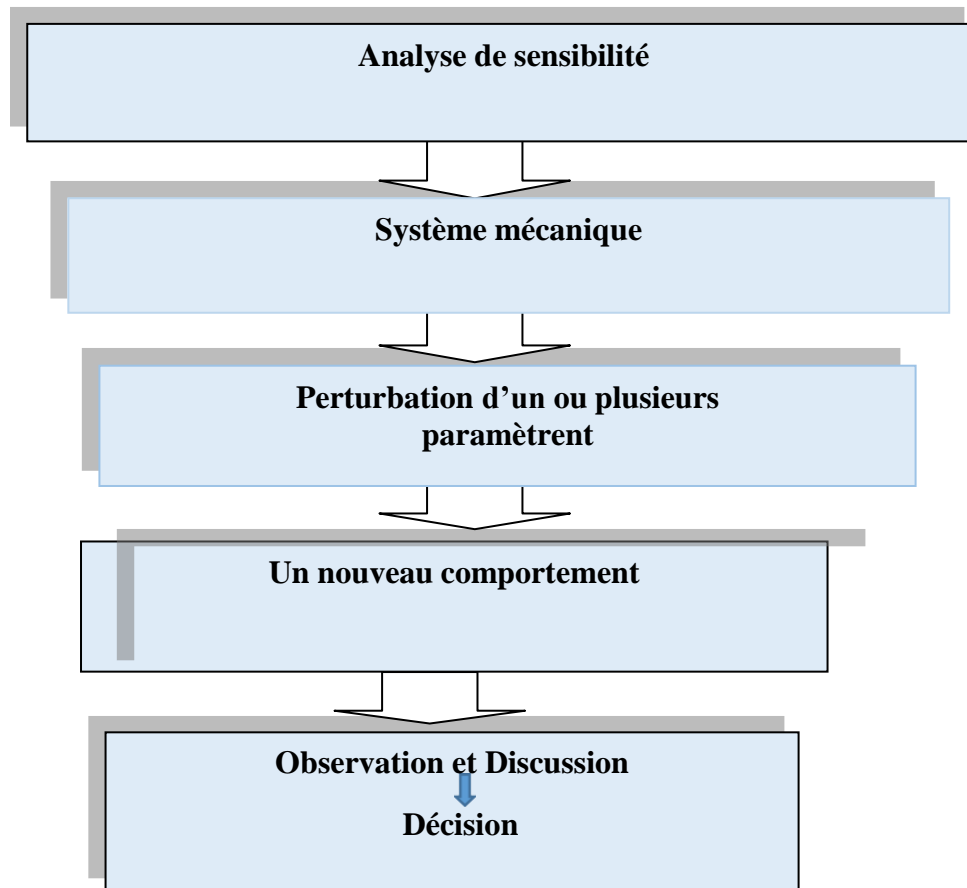


Figure II-1 : Schéma à suivre par l'analyse de sensibilité

II.7 Conclusion

L'optimisation industrielle est un outil puissant pour améliorer les performances des systèmes énergétiques et minimiser leur impact environnemental. Les différentes méthodes d'optimisation présentées dans ce chapitre offrent des solutions pour résoudre les problèmes d'optimisation complexes, que ce soit en utilisant une approche exhaustive, des méthodes heuristiques ou multi-objectifs. En appliquant ces méthodes, les concepteurs de systèmes énergétiques peuvent trouver des solutions plus efficaces, économiques et écologiques, et contribuer ainsi à un avenir plus durable. Enfin, l'optimisation industrielle doit être considérée comme une composante essentielle de la gestion des systèmes énergétiques pour répondre aux défis énergétiques et environnementaux actuels et futurs.

Chapitre III

Analyse thermodynamique

III.1 Rappel thermodynamique

L'analyse thermodynamique, explore les transformations énergétiques dans différents systèmes tel que les centrales électriques. Elle repose sur les lois fondamentales de la thermodynamique, étudiant les relations entre travail, chaleur et propriétés macroscopiques. Cette discipline, intégrée à l'ingénierie, la chimie et d'autres domaines, fournit des outils essentiels pour concevoir, optimiser et comprendre le fonctionnement des systèmes énergétiques, contribuant au progrès technologique et à l'efficacité énergétique.

III.1.1 Premier principe de thermodynamique pour un système fermé

Le premier principe de la thermodynamique, énonce que lorsqu'un système fermé évolue d'un état initial à un état final sans échange net de chaleur avec son environnement, il effectue ou reçoit un travail. Cette règle, établie à partir d'observations expérimentales, affirme que l'augmentation totale de l'énergie interne du système est due à la somme du travail effectué et de la chaleur échangée, ainsi que des variations dans les enthalpies du système.

En notation, cela s'exprime comme suit :

$$\Delta U = Q - W$$

ΔU : représente la variation d'énergie interne du système

Q : représente la chaleur ajoutée au système

W : représente le travail effectué par le système sur son environnement

III.1.2 Premier principe de thermodynamique pour un système ouvert

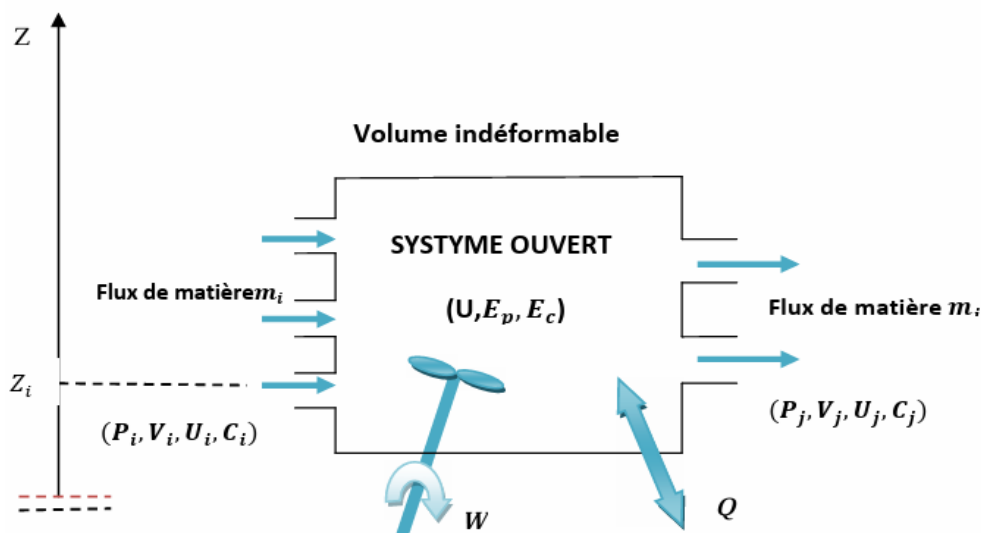


Figure III-1 : système ouvert a plusieurs entrées (i) et sorties (j).

La variation de l'énergie totale d'un système ouvert résulte dans les échanges d'énergies (sous forme du travail et chaleur) avec le milieu extérieur.

$$\Delta E_T = \Delta U + \Delta E_C + \Delta E_P = Q + W + \Delta U_{ij} + \Delta E_{Cij} + \Delta E_{Pij} + \Delta W_{tij}$$

Energie interne : $\Delta U_{ij} = \sum_i U_i - \sum_j U_j$

Energie cinétique : $\Delta E_{Cij} = \sum_i \frac{1}{2} m_i c_i^2 - \sum_j \frac{1}{2} m_j c_j^2$

Energie potentielle : $\Delta E_{Pij} = \sum_i m_i g z_i - \sum_j m_j g z_j$

Travail des forces de pressions : $\Delta W_{tij} = \sum_i P_i V_i - \sum_j P_j V_j$

LES AUTRES EQTIONS

Le premier principe de la thermodynamique pour un système ouvert, parfois appelé principe de conservation de la masse-énergie, prend en compte les échanges de matière en plus de l'énergie.

Pour un système ouvert, la version généralisée du premier principe s'exprime comme suit :

$$W + Q = \Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p$$

Avec :

W : représente le travail effectué par le système sur son environnement

Q : La quantité de chaleur échangée par la pompe avec le milieu extérieur

ΔH : représente la variation d'enthalpie due aux flux entrants et sortants de matière

ΔE_c : variation d'énergie cinétique

ΔE_p : variation d'énergie potentielle

III.2 Application pour différents éléments du cycle

III.3.1 POMPE (1-2)

Les pompes au sein d'un cycle de puissance thermique dans une centrale électrique jouent un rôle fondamental en déplaçant l'eau à travers différentes phases du processus. La pompe d'extraction élève la pression de l'eau de condensation pour faciliter son traitement dans le désaérateur, et la pompe d'alimentation augmente la pression de l'eau avant son introduction dans la chaudière pour la conversion en vapeur. Ces pompes contribuent ainsi à optimiser le rendement du cycle thermique en maintenant les conditions appropriées et en assurant un flux

continu d'eau dans le système.

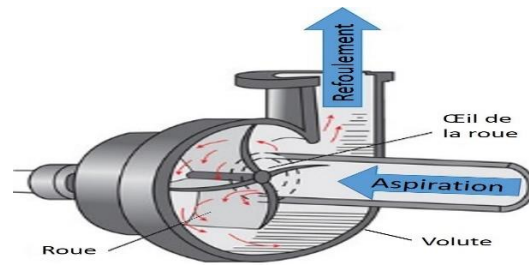


Figure III-2: schéma de pompe centrifuge.

En appliquant le premier principe de la thermodynamique pour un système, on obtient:

$$W_{pp} + Q_{pp} = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P$$

Aussi, le travail de la pompe est défini comme étant :

$$W_{pp} = \int_1^2 V dP = V(P_2 - P_1) \text{ avec } V = V_1 = V_2 \text{ (Incompressible)}$$

En effet en rassemblant les équations on aura :

$$W_{pp} = (h_2 - h_1) = V(p_2 - p_1)$$

La puissance mécanique de la pompe :

$$\dot{W}_{pp} = \dot{m} W_{pp}$$

\dot{m} : Le débit massique de l'installation.

h_1, h_2 : sont respectivement les enthalpies du fluide à l'entrées et à la sortie de la pompe.

V : le volume massique du fluide (entrée-sortie) de la pompe.

III.3.2 Chaudière (2-3)

La chaudière, au sein d'une centrale électrique, est un équipement essentiel du cycle thermique. Sa fonction principale est de chauffer l'eau à des températures élevées pour produire de la vapeur. Cette vapeur à haute pression est ensuite dirigée vers la turbine, où elle est utilisée pour générer de l'électricité. La chaudière joue ainsi un rôle central dans la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique, contribuant de manière cruciale à la production d'électricité dans le cadre du cycle de puissance thermique.

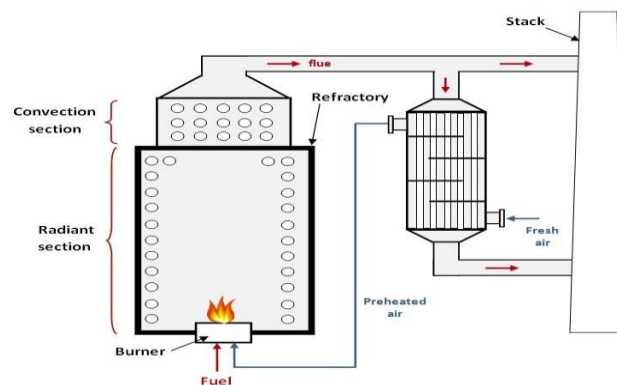


Figure III-3 : schéma de la chaudière.

$$W_{CH} + Q_{ch} = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P$$

Canal fixe $W_{CH} = 0$

$$Q_{ch} = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P$$

En négligeant l'énergie cinétique et potentielle

$$Q_{ch} = \Delta h = (h_3 - h_2)$$

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{m} Q_{ch}$$

III.3.4 Turbine haute et basse pression (3-4)

Les turbines, au sein d'une centrale électrique, sont des dispositifs clés du cycle thermique. On distingue généralement deux types de turbines : la turbine haute pression et la turbine basse pression. La turbine haute pression est conçue pour recevoir la vapeur à haute pression provenant de la chaudière. Elle convertit l'énergie de la vapeur en mouvement rotatif, entraînant ainsi le générateur électrique pour produire de l'électricité. Ensuite, la vapeur, à une pression réduite, est dirigée vers la turbine basse pression qui effectue un travail supplémentaire pour maximiser l'efficacité du cycle thermique. Ces turbines jouent un rôle crucial dans la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique, alimentant ainsi le processus global de génération d'électricité.

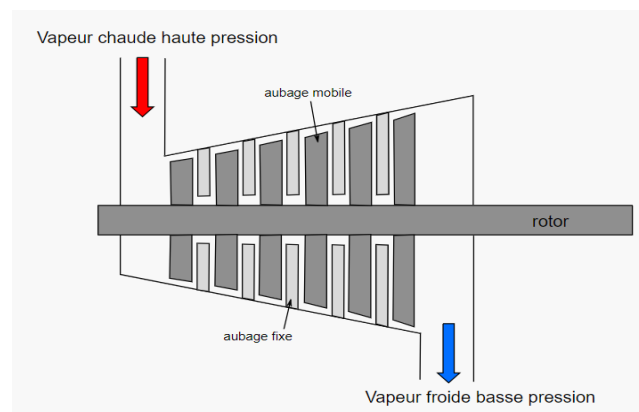


Figure III-4 : schéma de la turbine à vapeur.

Le travail massique de la turbine

$$W_{eT} + Q_c = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P$$

Pour une transformation adiabatique, en négligeant l'énergie cinétique et potentielle

$$W_{eT} = \Delta h = (h_3 - h_4)$$

Le rendement isentropique de la turbine :

$$\eta_T^s = \frac{W_T^r}{W_T^s} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4s} - h_3}$$

Pour la détente isentropique :

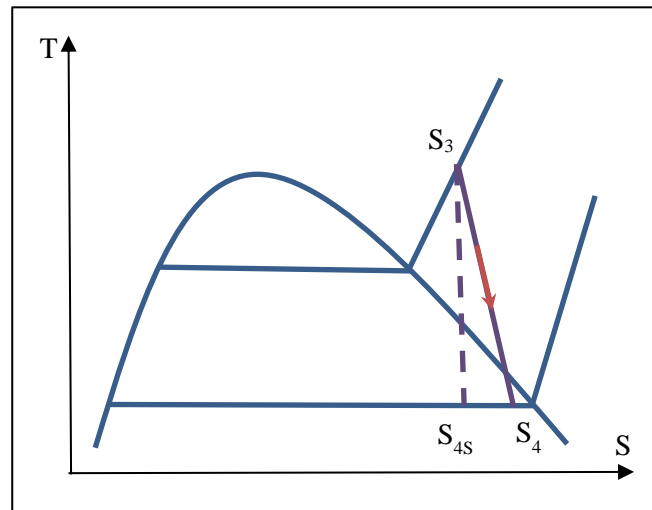


Figure III-5 : diagramme isentropique.

$$S_3 = S_{4s}$$

$$\text{Avec : } h_{4s} = (1 - X_{4s})h_{4sliq} + X_{4s}h_{4svapr}$$

$$X_{4s} = \frac{S_{4s} - S_{4sliq}}{S_{4svapr} - S_{4sliq}}$$

L'enthalpie massique de point 4 s'écrit

$$h_4 = h_3 - \eta_T^s (h_3 - h_{4s})$$

La puissance mécanique de la turbine :

$$\dot{W}_T = \dot{m}W_{eT}$$

III.3.4 Condenseur (5-6)

Le condenseur joue le rôle de récepteur final de la vapeur ayant traversé la turbine. La fonction principale du condenseur est de refroidir cette vapeur, la condensant en eau liquide. Ce processus libère la chaleur absorbée précédemment par la vapeur lors de son passage à travers la turbine. L'eau condensée est ensuite renvoyée à la pompe d'alimentation pour être réintroduite dans le cycle thermique. Le condenseur contribue ainsi à maintenir l'efficacité globale du système en préparant la vapeur pour un nouveau cycle.

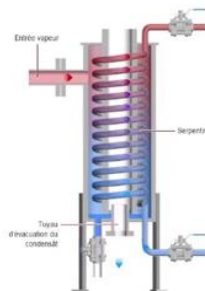


Figure III-6: schéma d'un condenseur à vapeur.

Echange de chaleur isobare dans le condenseur.

La chaleur rejetée à la source froide.

$$Q_F = (h_1 - h_4) < 0$$

Ou encore

$$Q_{eF} = -Q_F = (h_4 - h_1) > 0$$

La puissance du condenseur :

$$\dot{Q}_F = \dot{m} (h_4 - h_1)$$

III.3.5 Echangeur de chaleur (6-7)

Les échangeurs de chaleur, tels que le surchauffeur, le resurchauffeur et le préchauffeur, sont des composants essentiels au sein d'une centrale à vapeur. Leur rôle central réside dans la facilitation des transferts thermiques efficaces entre les fluides du cycle thermique. Le surchauffeur accroît la température de la vapeur provenant de la chaudière, augmentant ainsi son potentiel énergétique avant son introduction dans la turbine. Le resurchauffeur intervient à nouveau dans le circuit des gaz de combustion pour surchauffer la vapeur après sa première expansion dans la turbine. Les préchauffeurs utilisent la chaleur résiduelle de la vapeur des soutirages des turbines pour réchauffer l'eau d'alimentation avant son introduction dans la chaudière. Ces échangeurs de chaleur sont des éléments clés qui optimisent l'efficacité thermique du cycle à vapeur, contribuant ainsi à la production efficace d'électricité dans la centrale.

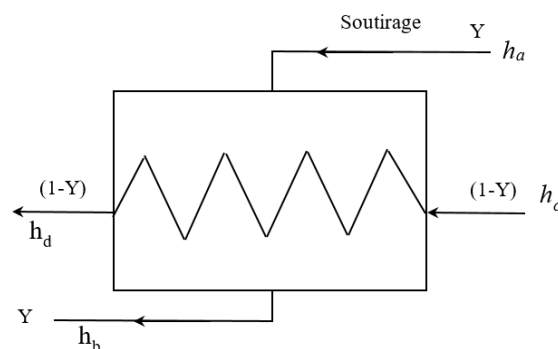


Figure III-7: schéma d'un échangeur de chaleur.

Echange de chaleur isobare dans l'échangeur jusqu'à l'Etat de vapeur saturé

$$W + Q_c = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_C$$

Canal fixe et transformation adiabatique $\Rightarrow W = Q_c = 0$

$$\Rightarrow 0 = \Delta h$$

$$\Rightarrow 0 = yh_b + (1 - y)h_d - yh_a + (1 - y)h_c$$

$$\Rightarrow yh_b + (1 - y)h_d = yh_a + (1 - y)h_c$$

La fraction massique y :

$$\Leftrightarrow y(h_b - h_d - h_a + h_c) = h_c - h_d$$

$$\Leftrightarrow y = \frac{h_c - h_d}{(h_b - h_d - h_a + h_c)}$$

III.1.6 Le désaérateur (dégazeur) (i-s)

Le désaérateur ou dégazeur a pour rôle principal d'éliminer les gaz dissous, en particulier l'oxygène, de l'eau d'alimentation avant son introduction dans la chaudière. En agissant comme un dispositif de dégazage, le désaérateur contribue à prévenir la corrosion dans la chaudière en réduisant la concentration d'oxygène dans l'eau. Cela améliore la durabilité des équipements et maintient les conditions optimales de fonctionnement du cycle thermique en minimisant les effets néfastes des gaz dissous.

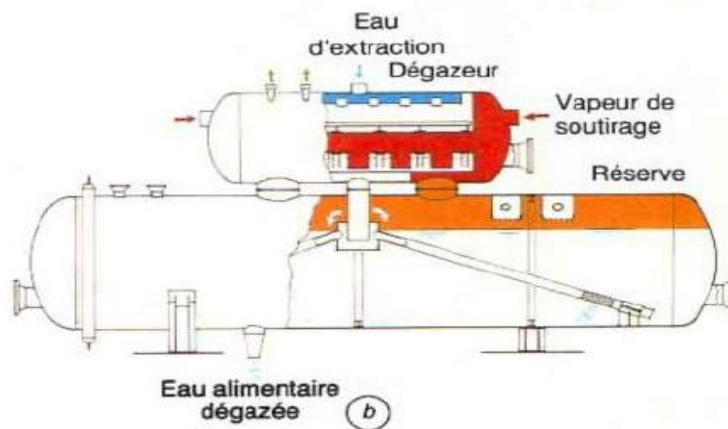


Figure III-8: schéma de dégazeur.

Pour le débit massique on a :

$$\dot{m}_{vap,i} + \dot{m}_{eau,i} = \dot{m}_{eau,s}$$

III.3 Les performances thermodynamiques du système

La performance du système mesurée par le travail net (W_{net}), est définie comme suit :

$$W_{net} = \sum W_T - \sum W_p$$

La puissance nette produite peut être exprimée comme suit :

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{Ts} - \dot{W}_{ppes}$$

La puissance calorifique peut être exprimée comme suit :

$$\dot{Q}_{CH} = \dot{m}Q_{CH}$$

Le rendement thermique du cycle :

Le rendement thermique est le rapport entre la puissance nette du cycle et la chaleur fournie il s'écrit comme suit :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_c} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{CH}}$$

Pour un cycle idéal :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_F}$$

III.3 La méthode de calcul du Cycle Tempo

Elle est démontrée à l'aide d'un exemple concret d'un cycle à vapeur simple, illustré dans la figure. Pour résoudre les différentes variables de ce processus, le logiciel utilise un système matriciel représenté dans la figure

Les équations correspondantes aux différents bilans de masse et d'énergie sont appliquées, comprenant le bilan de masse de la chaudière, de la turbine, du condenseur, du côté eau de refroidissement, du dégazeur, ainsi que le bilan de masse des pompes d'eau d'alimentation et de refroidissement. Les bilans d'énergie du dégazeur, du condenseur et de la turbine sont également pris en compte. [11]

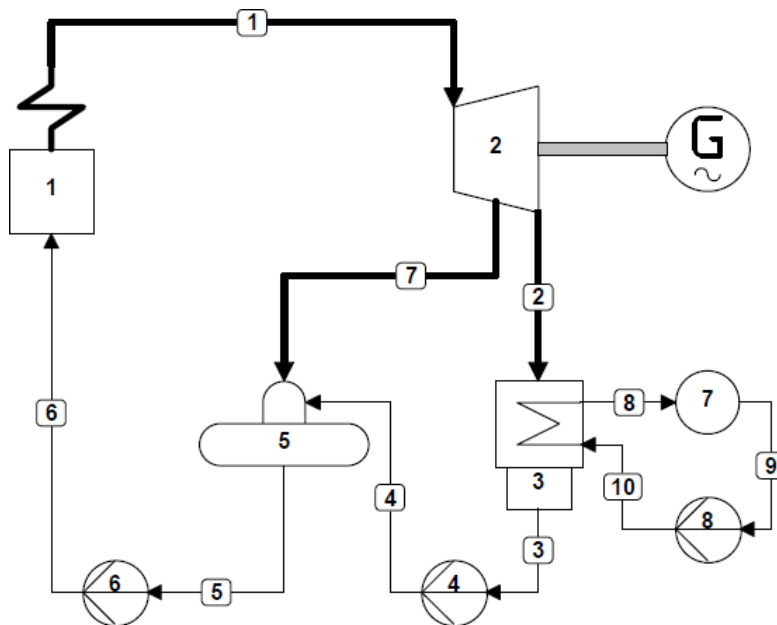


Figure IV-9 : Exemple de logiciel cycle-tempo.

Le système comprend plusieurs composants :

1. Chaudière

Le débit massique est calculé en se basant sur les bilans de masse et les bilans d'énergie de chaque appareil

-Bilan massique de chaque élément :

$$\sum_{j=1}^{n_i} \dot{m}_{in}(j) - \sum_{i=1}^{n_o} \dot{m}_{out}(h) = b(k)$$

-Bilan énergétique de l'appareil :

$$\sum_{j=1}^{n_i} [\dot{m}_{in}(j) * h_{in}(j)] - \sum_{j=1}^{n_o} [\dot{m}_{out}(j) * h_{out}(i)] = b(i)$$

Où :

k et l : représentent le nombre d'équations.

b : est la masse d'énergie perte.

-Le travail total de la turbine est :

$$\dot{W}_{THP} = (\dot{m}_{vap,i} h_{i,THP}) - (\dot{m}_{vap,s} h_{s,THP})$$

$$\dot{W}_{TBP} = (\dot{m}_{vap,i} h_{i,TBP}) - (\dot{m}_{vap,s} h_{s,TBP})$$

$$\dot{W}_{TOT} = \dot{W}_{THP} + \dot{W}_{TBP}$$

-Le travail de chaque pompe est donné par :

$$\dot{W}_{POM} = (\dot{m}_{eau,i} h_{eau,i}) - (\dot{m}_{eau,s} h_{eau,s})$$

III.3.1 Les conditions à remplir pour les calculs

-La matrice doit être carrée, ce qui signifie que le nombre d'équations doit être égale au nombre de pipes du système.

-La matrice doit être indépendante.

-S'il existe des coefficients dans la matrice qui dépendent des débits massiques, un calcul itératif est nécessaire. Ce processus doit être convergent. [11]

Chapitre IV

Modélisation, configuration et optimisation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous penchons sur la modélisation, la configuration et l'optimisation des systèmes énergétiques en utilisant les logiciels Cycle-Tempo et Cycle Pad. Nous privilégions l'utilisation de Cycle-Tempo en raison de son efficacité supérieure dans la configuration et la programmation de centrales à vapeur complexes. Nous présenterons ensuite les résultats avant et après l'optimisation de la centrale à vapeur, mettant en évidence les améliorations apportées au rendement de la centrale, comme le présente le diagramme suivant

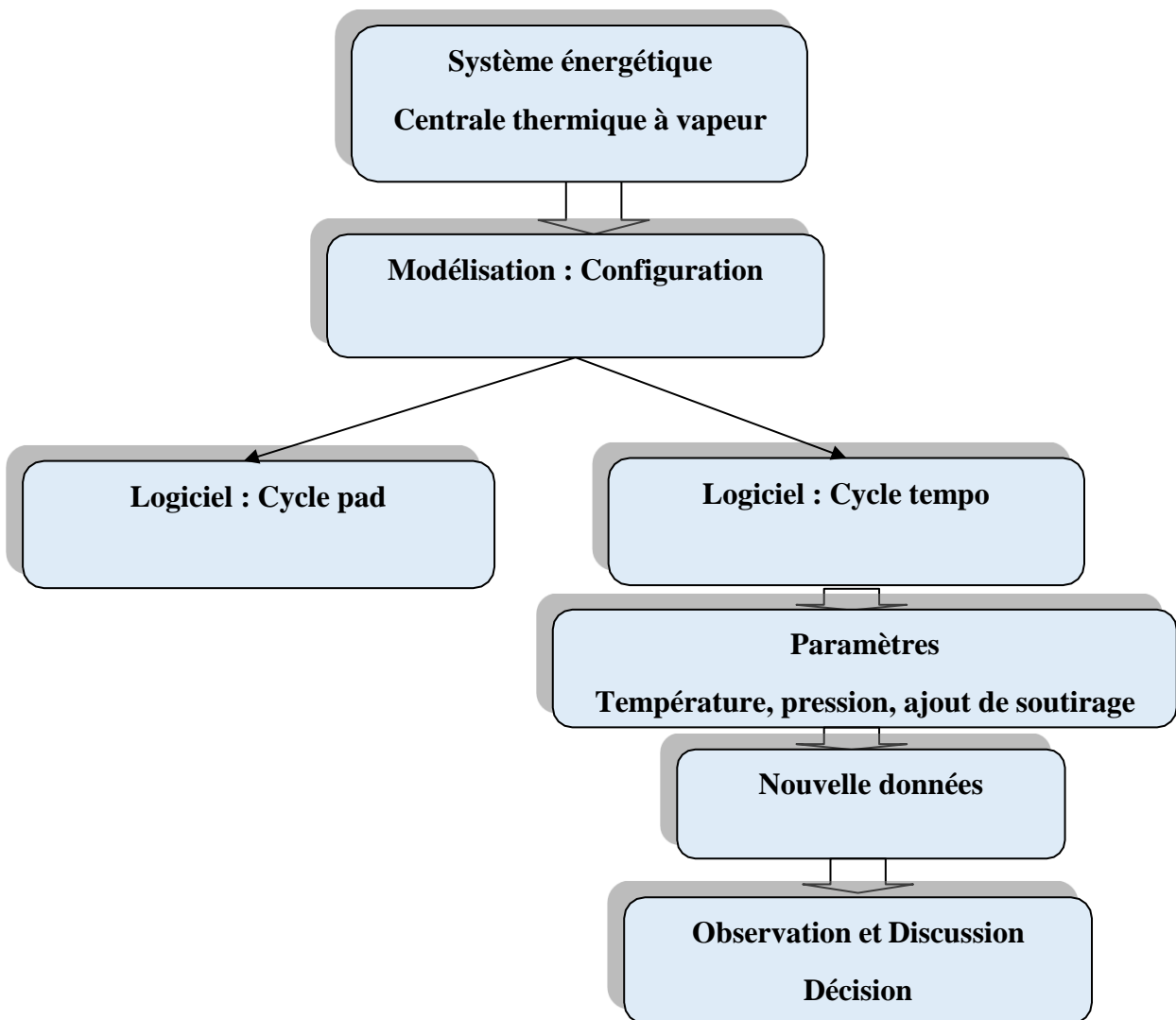


Figure IV-1 : Schéma à suivre pour l'application

III.2 Modélisation et configuration

III.2.1 Configuration sous logiciel Cycle-Tempo

III.2.1.1 Le logiciel Cycle-Tempo

C'est un logiciel spécialisé dans la simulation et la modélisation des cycles thermodynamiques des centrales électriques (le logiciel est disponible en ligne et on dispose d'une licence demandée de 30 jours). Son utilisation permet d'analyser et d'optimiser les performances des centrales thermiques, en particulier les centrales à vapeur.

En utilisant Cycle-Tempo, il est possible de modéliser de manière précise et détaillée les différents composants d'une centrale thermique, tels que les chaudières, les turbines, les échangeurs de chaleur, les condenseurs et les pompes. Le logiciel prend en compte les conditions de fonctionnement spécifiques, les caractéristiques des fluides utilisés (notamment la vapeur et les gaz de combustion) ainsi que les rendements des équipements.

Grâce à ses fonctionnalités avancées, Cycle-Tempo permet d'effectuer des analyses thermodynamiques approfondies. Il est possible de simuler le fonctionnement de la centrale dans différentes conditions, d'explorer différentes configurations et de déterminer les paramètres optimaux pour améliorer l'efficacité énergétique de la centrale.

III.2.1.3 Configuration d'un cycle de Rankine simple

Le processus de transformation de l'eau dans un cycle de puissance à vapeur comprend des échanges thermiques avec deux sources de chaleur, chacune ayant une température constante. Ces échanges peuvent entraîner des transitions de phase de liquide à vapeur.

L'eau pénètre dans la pompe à l'état de liquide saturé et est comprimée jusqu'à atteindre la pression requise par la chaudière. Pendant la compression, la température de l'eau augmente légèrement en raison de variations mineures du volume spécifique de l'eau. Ensuite, l'eau entre dans la chaudière sous forme de liquide et en ressort en tant que vapeur surchauffée.

Cette vapeur surchauffée passe ensuite dans la turbine où elle se détend, générant de l'énergie en faisant tourner la turbine. Pendant cette phase, la pression et la température de la vapeur diminuent. Ensuite, la vapeur entre dans un condenseur où elle se refroidit et se condense en perdant de la chaleur vers l'environnement, qui peut être un lac, une rivière ou simplement l'atmosphère. L'eau quitte le condenseur à l'état de liquide saturé et retourne à la pompe, complétant ainsi le cycle.

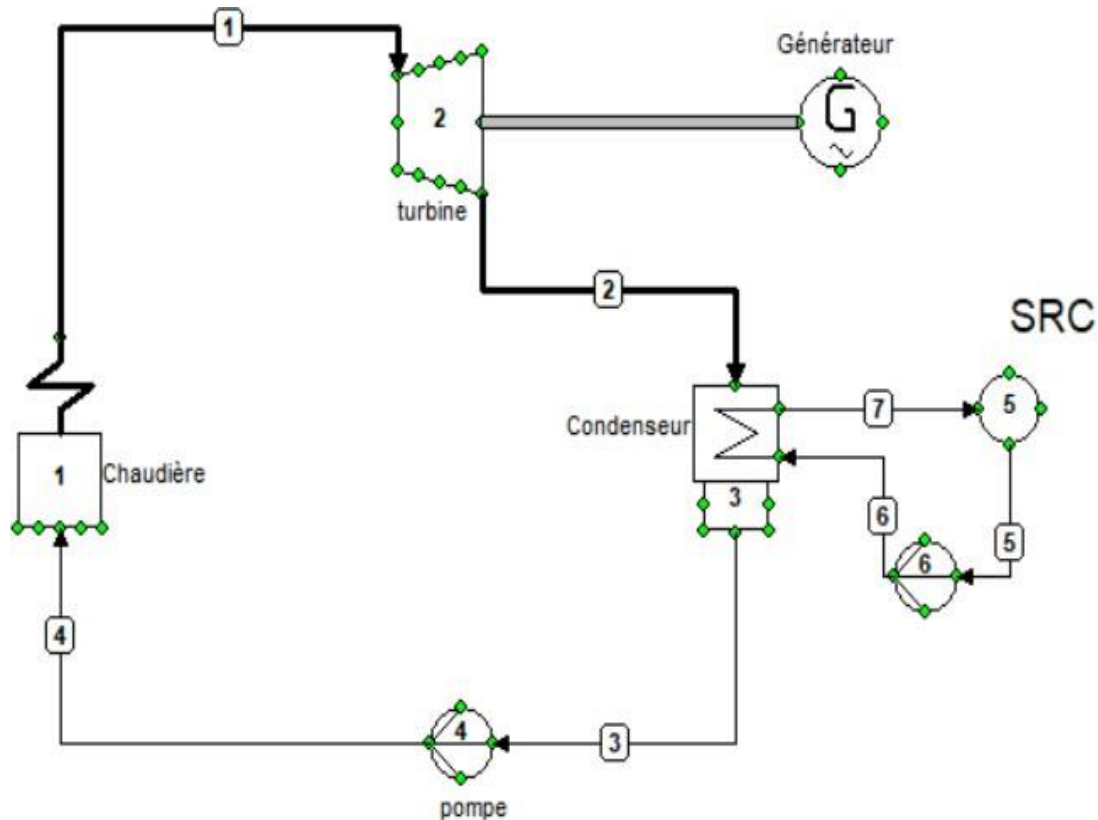


Figure IV-2 : Configuration du cycle de Rankine simple.

III.2.1.4 Configuration d'une centrale à vapeur

Dans le cadre de l'optimisation d'un système énergétique et comme exemple d'application, dans notre travail on a choisi une centrale à vapeur qui est celle de Achouat (Jijel) qui fonction avec le principe de cycle de Rankin et pour plus de détails voir [12] [13] [14]. Le cycle commence par la chaudière, où l'eau est transformée en vapeur. La vapeur produite est ensuite envoyée à la turbine haute pression. Une fois dans la turbine haute pression, la vapeur est partiellement détendue et renvoyée à la chaudière pour être resurchauffée. Après le resurchauffe, la vapeur est dirigée vers la turbine basse pression. À la fin de la détente, la vapeur est condensée dans le condenseur. La chaudière auxiliaire crée le vide dans le condenseur, facilitant ainsi la condensation et la production d'eau déminéralisée. L'eau déminéralisée est ensuite pompée vers les préchauffeurs à condensation à basse pression, chauffés par la vapeur de soutirage de la turbine basse pression. Elle passe ensuite par un désaérateur pour éliminer les gaz dissous avant d'être renvoyée vers les préchauffeurs à condensation à haute pression, chauffés par la vapeur de soutirage de la turbine haute pression. Le cycle recommence. (Voir la Figure III.5)

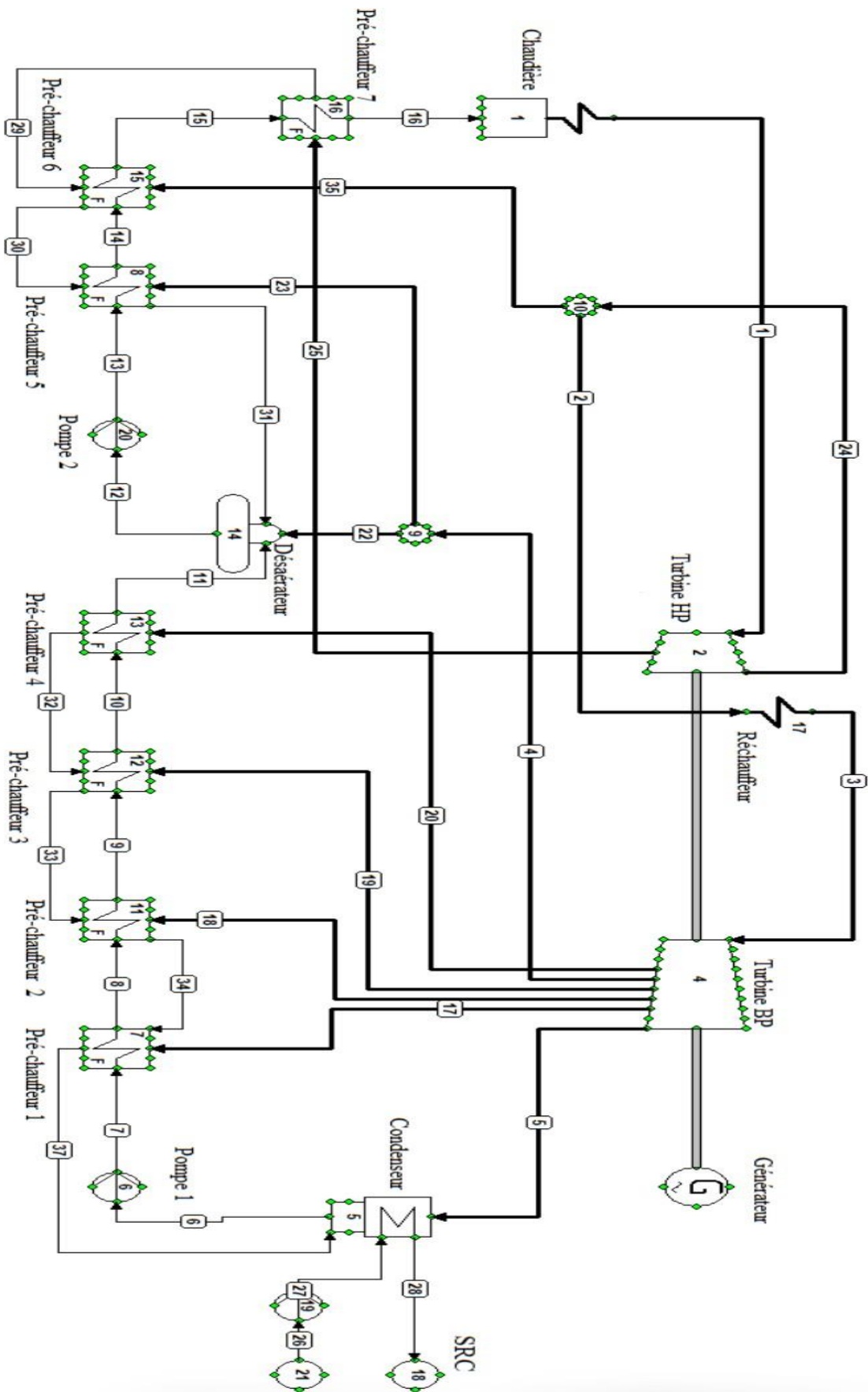


Figure IV-3 : Configuration d'une centrale à vapeur.

III.2.2 Configuration sous logiciel Cycle pad

Le logiciel CYCLEPAD permet la simulation de cycles thermodynamiques et de transformations spécifiques dans l'industrie. Il facilite les calculs rapides liés à des installations industrielles complexes. CYCLEPAD permet d'analyser les performances, d'évaluer l'efficacité énergétique et d'optimiser les conceptions. Il offre des visualisations graphiques et des rapports détaillés pour faciliter la compréhension des évolutions du système. Le logiciel trouve des applications dans divers secteurs industriels tels que l'énergie et la chimie. Il aide les ingénieurs à améliorer l'efficacité des installations et à prendre des décisions éclairées.

III.2.2.1 Le cycle de Rankin simple

Après avoir ajouté des appareils en utilisant la palette dans le coin supérieur gauche de l'écran, on sélectionne un type d'appareil en cliquant dessus, puis on le place à l'endroit souhaité sur l'écran bleu. Une fois que tous les appareils sont reliés, une barre apparaîtra, signifiant que la construction du cycle est terminée. On peut passer en mode Analyse en cliquant simplement sur "Analyse Now".

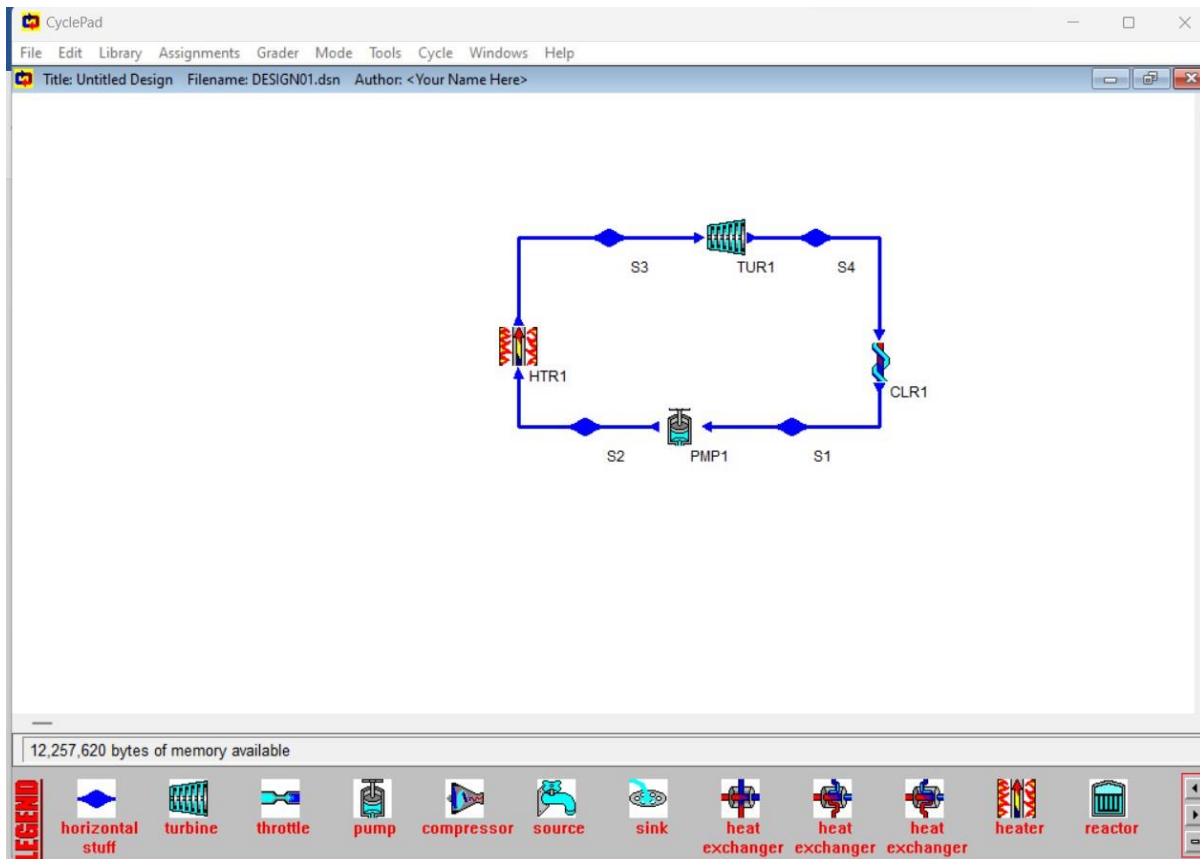


Figure IV-4 : Mode analyse de cycle Rankin.

III.2.2.2 Cycle avec un soutirage

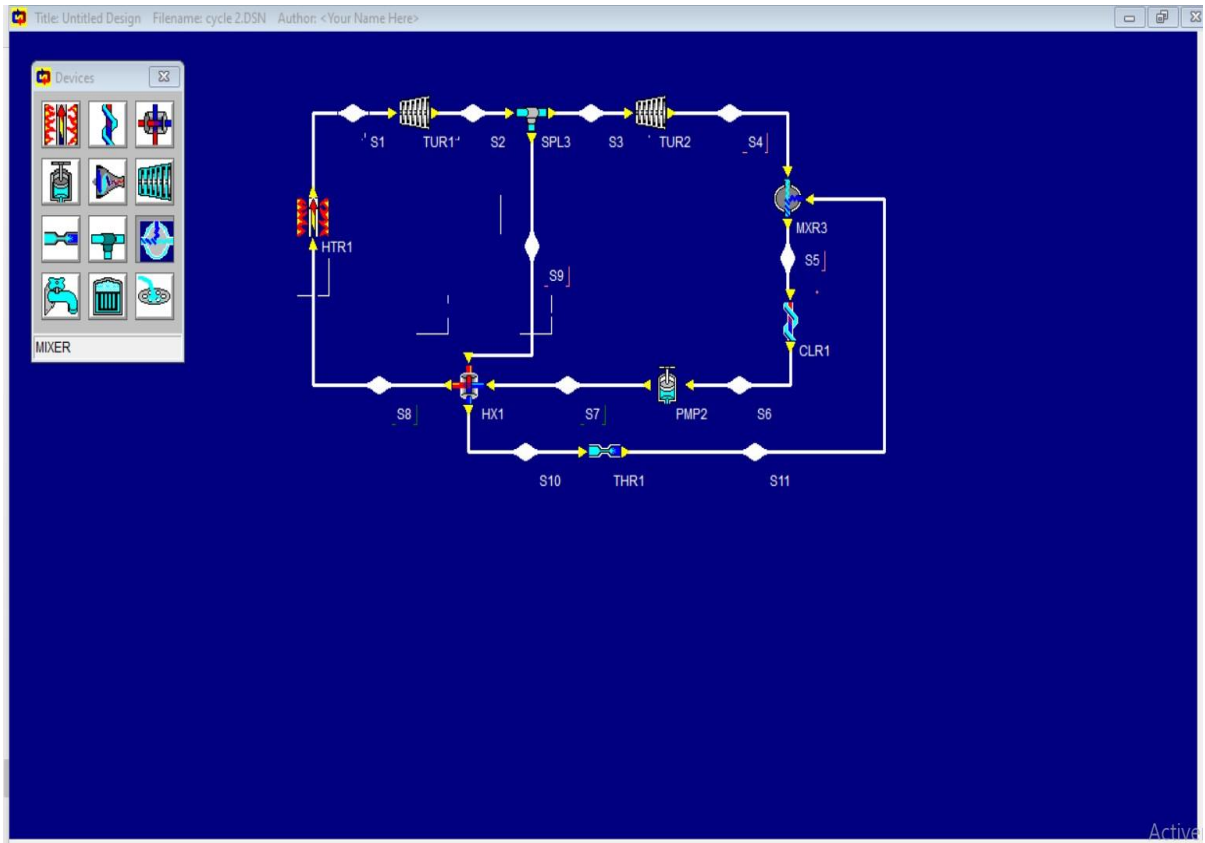


Figure IV-5 : Configuration de cycle avec un soutirage sous cyclepad.

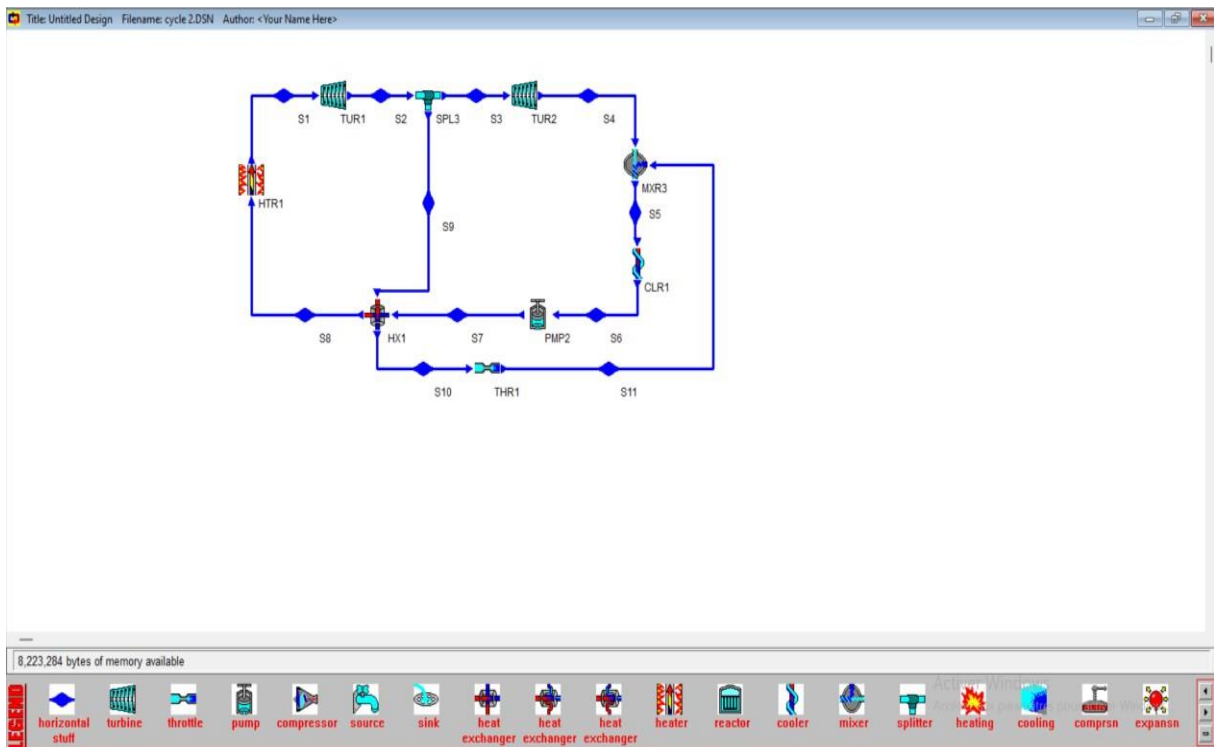


Figure IV-6 : Mode analyse de cycle avec un soutirage.

III.2.2.1 Proposition d'une configuration d'une centrale avec cycle pad

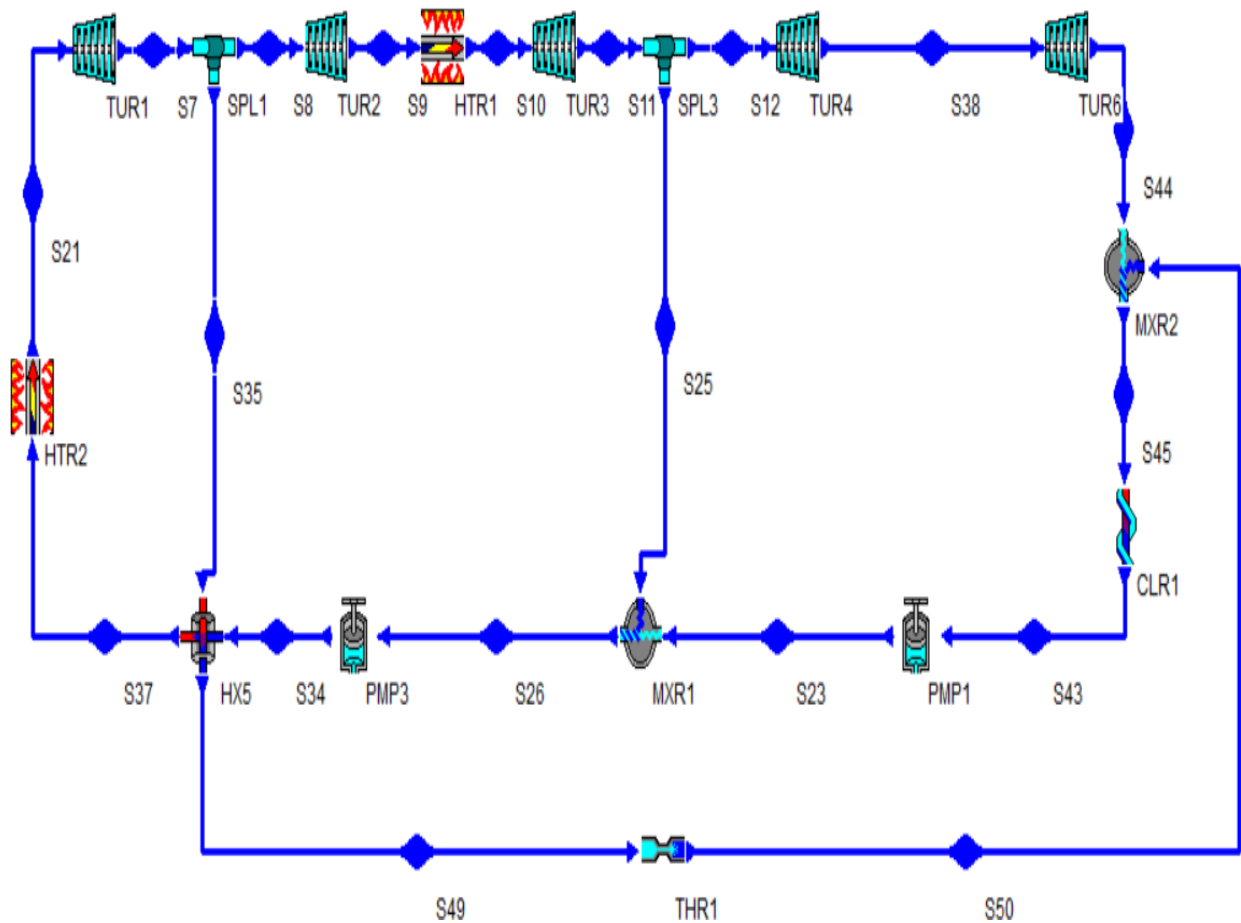


Figure IV-7 : Proposition d'une configuration d'une centrale à vapeur

III.3 Application, optimisation et Analyse de sensibilité

Vu les difficultés trouvées dans le logiciel cycle pad, on n'a pas trouvé les moyens qui nous permettent de programmer une centrale complexe avec deux turbines et sept (7) soutirages donc nous avons opté pour le logiciel cycle-tempo, car on juge que ce dernier est plus efficace pour la configuration et la programmation de la centrale à vapeur choisie.

III.3.1 Résultat de la centrale à vapeur trouvez avec cycle-temps

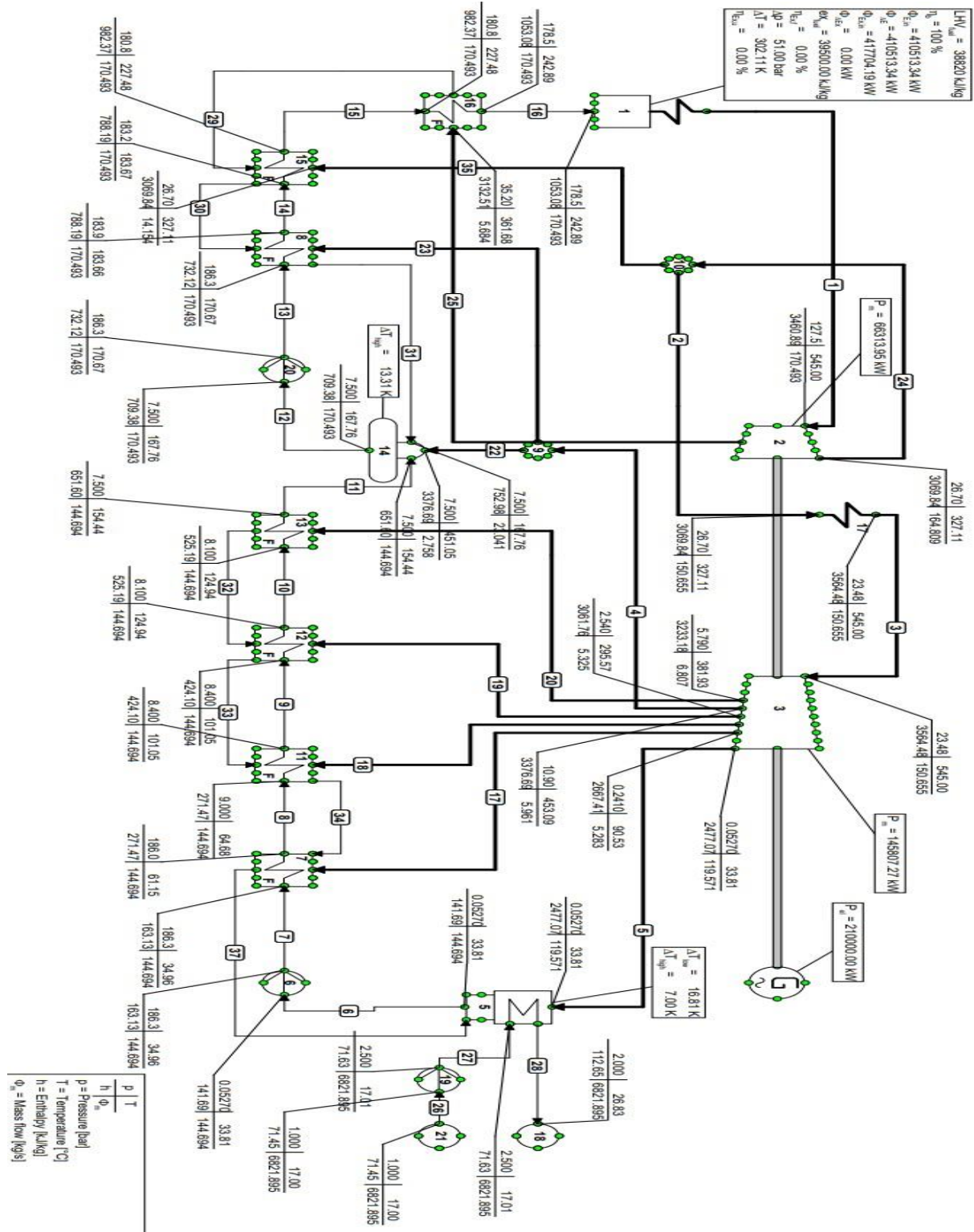


Figure IV-8: Résultat de la modélisation de la centrale à vapeur de Achouat

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	410513.34	
	17	Reheater	2	74519.66	
					485033.00
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3257.90	
	19	Pump	8	1239.31	
	20	Pump	8	4066.15	
					8563.36
Delivered net power					201436.64
Efficiencies	gross			43.296 %	
	net			41.531 %	

Tableau IV-1 : tableau d'efficacité énergétique de la centrale Achouat .

Diagramme (T-S) de la centrale étudié

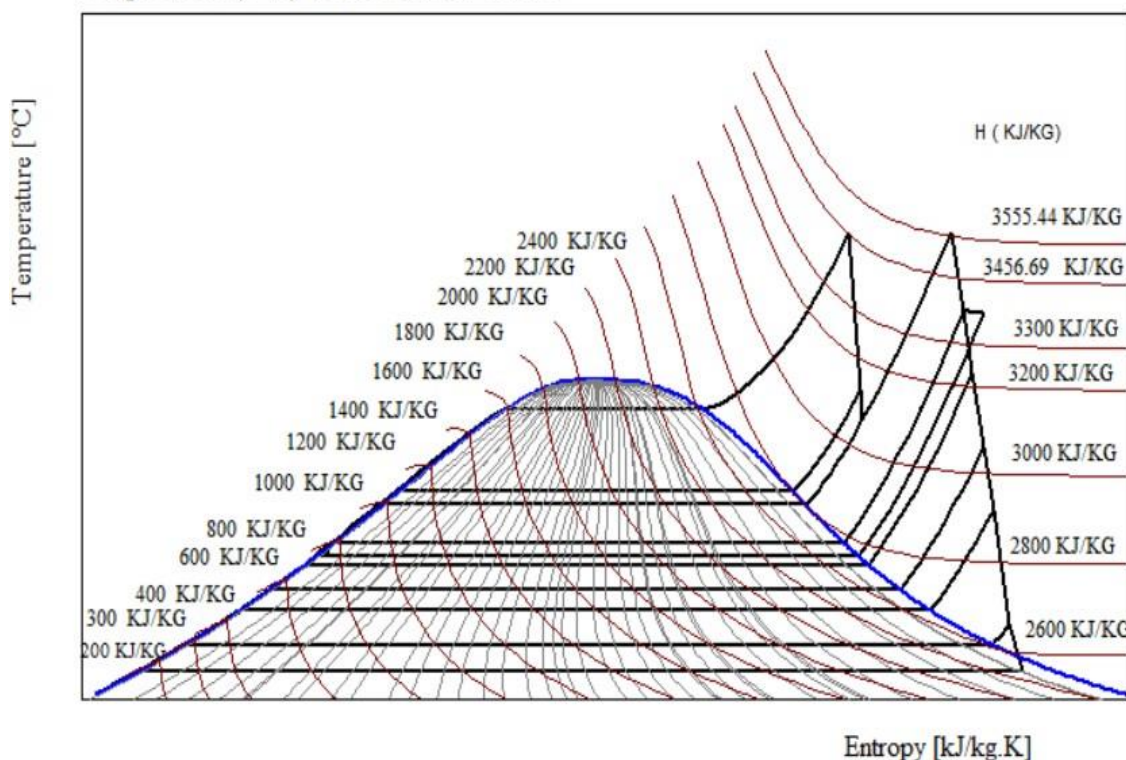


Figure IV-9 : tableau de l'efficacité énergétique et le diagramme (T-S) de la centrale.

III.3.2 Résultat d'analyse de sensibilité

Dans cette sous partie, nous allons réaliser une étude d'analyse de sensibilité pour la centrale proposé avant, en effet notre but est de faire varier quelques paramètres pour observer les

résultats de cette dernière en utilisant le logiciel cycle tempo, ainsi que le logiciel Matlab pour quelques présentations

III.3.2.1 Rendement en fonction de température

T = 550 °C : En exécutant le programme avec la nouvelle température qui est 550° on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement

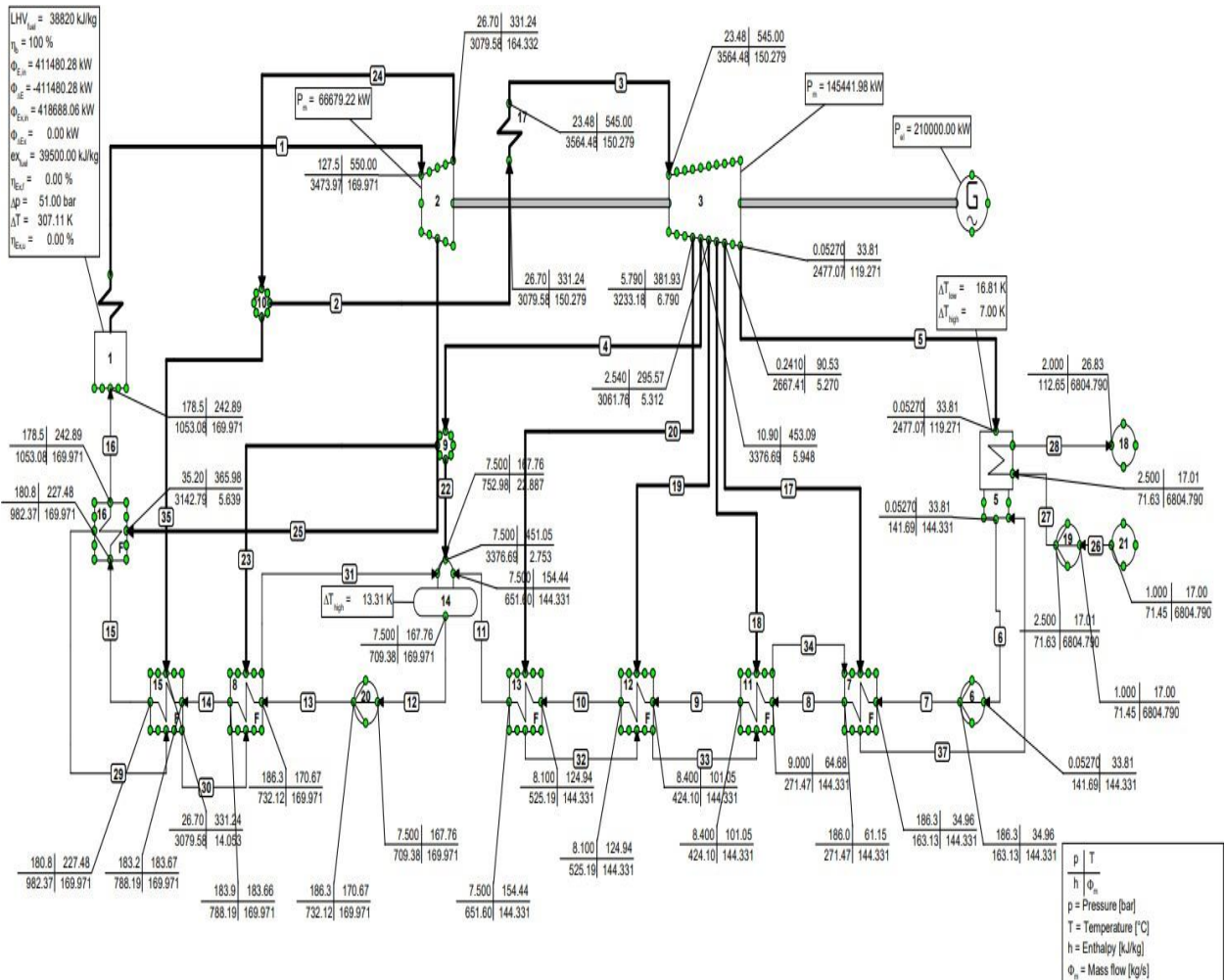


Figure IV-10 : Résultat après l'augmentation de température T= 550 °C.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	411480.28	484350.88
	17	Reheater	2	72870.59	
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3249.76	8539.72
	19	Pump	8	1236.21	
	20	Pump	8	4053.75	
Delivered net power					201460.28
Efficiencies	gross			43.357 %	
	net			41.594 %	

Tableau III-2: tableau de l'efficacité énergétique après que T=550 °C.

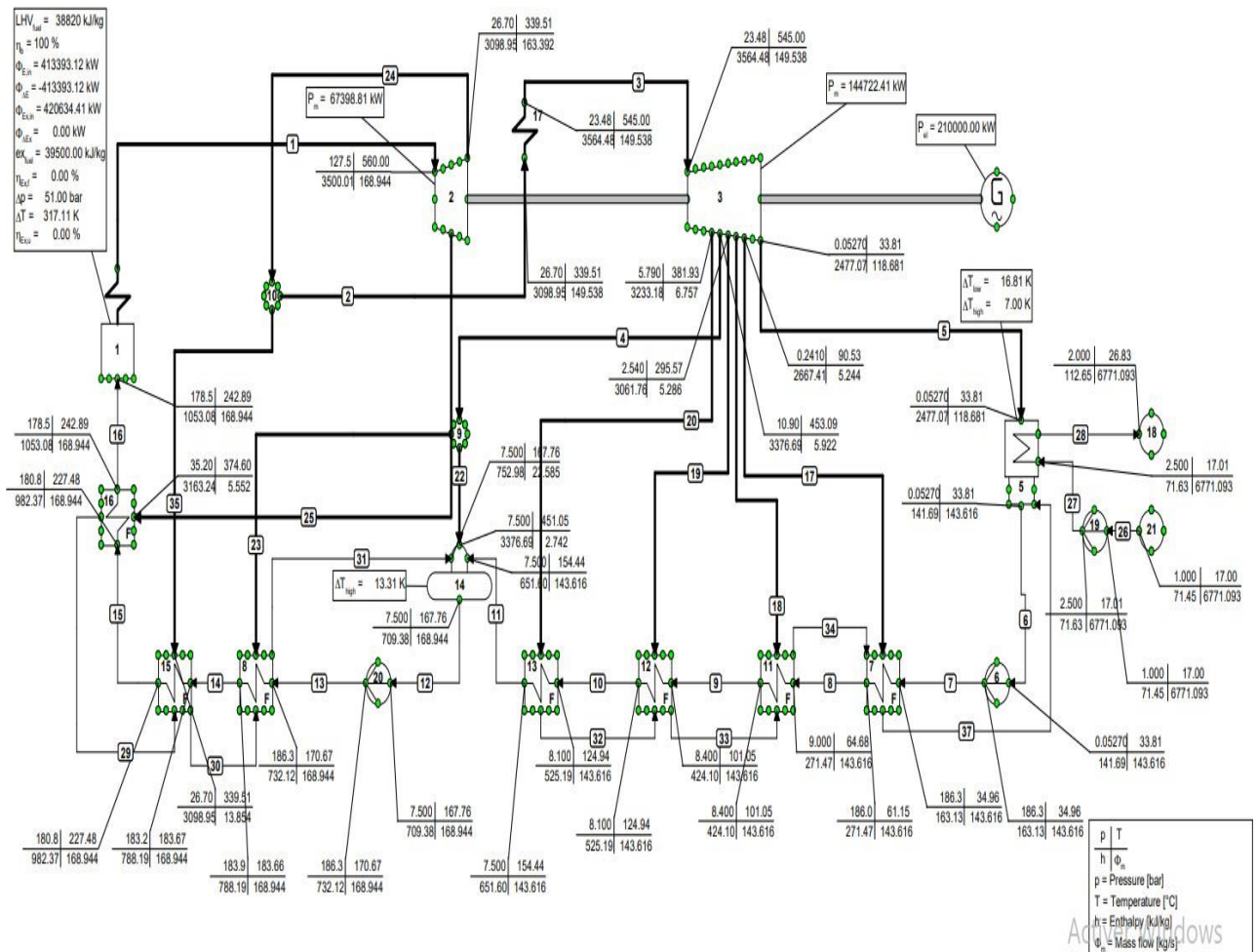


Figure IV-11 : Résultat après l'augmentation de température T= 560 °C.

T = 560 °C :

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	413393.12	
	17	Reheater	2	69613.90	
					483007.00
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3233.73	
	19	Pump	8	1230.09	
	20	Pump	8	4029.37	
					8493.19
Delivered net power					201506.81
Efficiencies	gross			43.478 %	
	net			41.719 %	

Tableau IV-3: tableau de l'efficacité énergétique après que T=560 °C.

T= 570 °C :

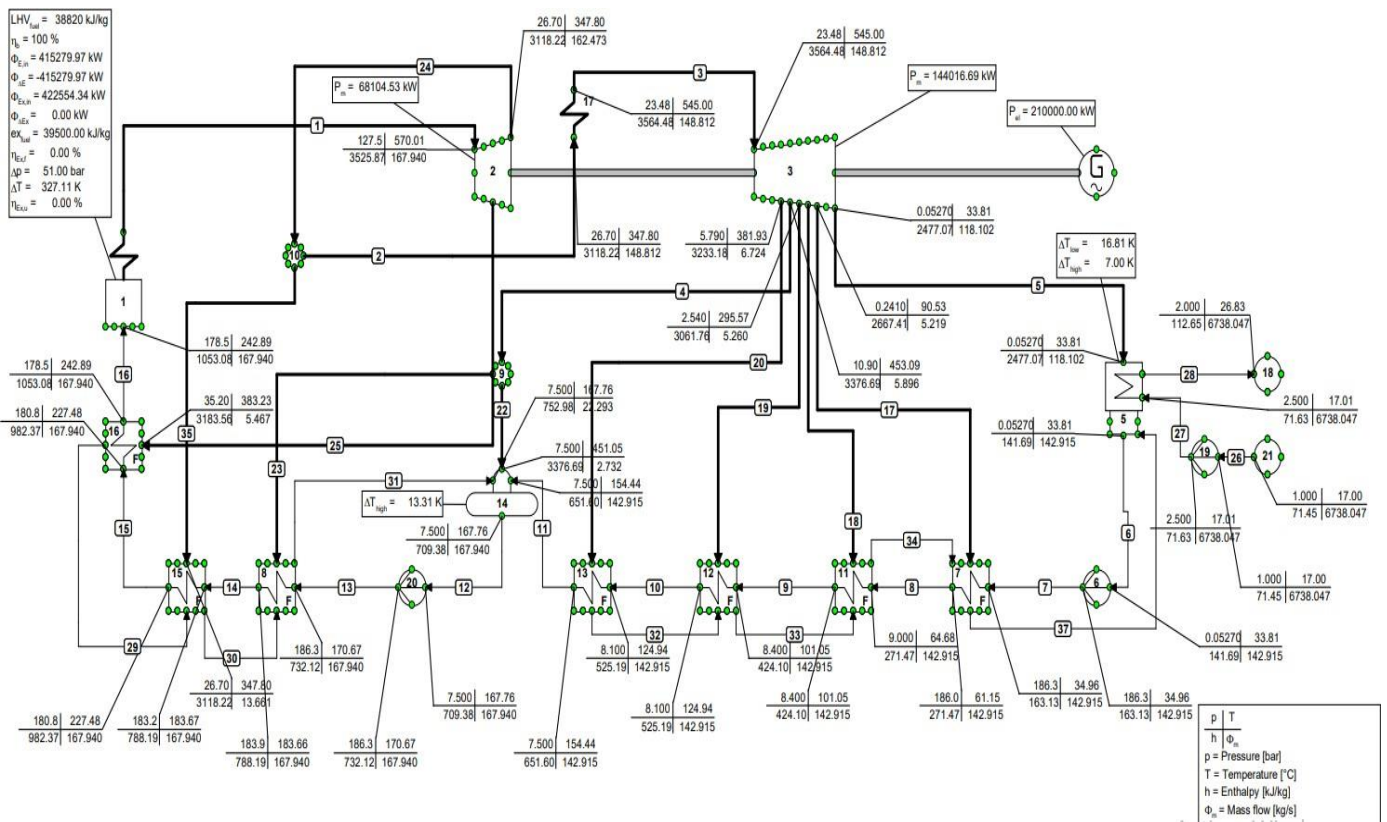


Figure IV-12 : Résultat après l'augmentation de température T= 570 °C.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	415279.97	
	17	Reheater	2	66409.05	
					481689.03
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3218.00	
	19	Pump	8	1224.10	
	20	Pump	8	4005.53	
					8447.63
Delivered net power					201552.38
Efficiencies	gross			43.597 %	
	net			41.843 %	

Tableau IV-4: tableau de l'efficacité énergétique T=570 °C.

T= 580 °C :

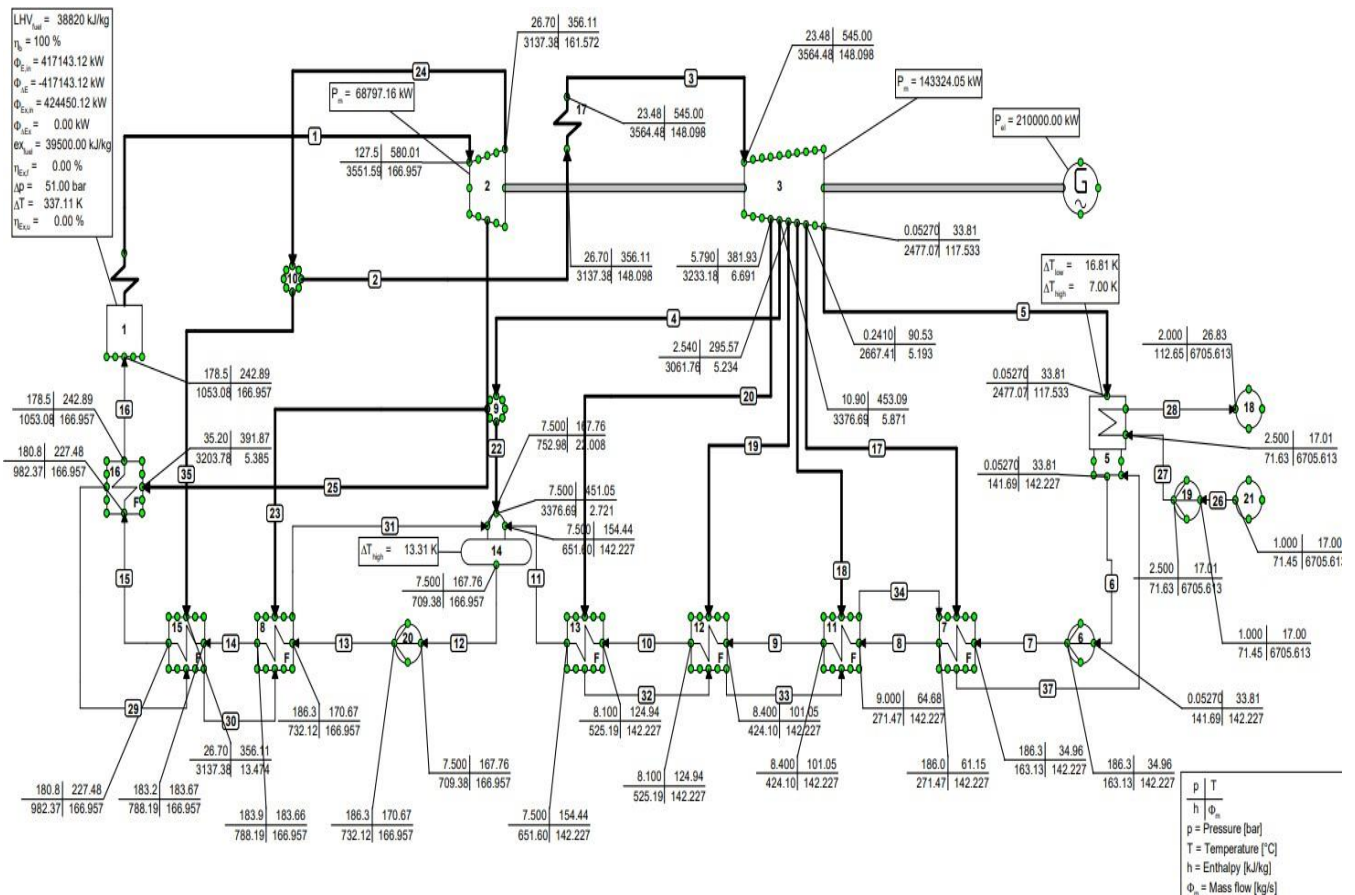


Figure IV-13 : Résultat après l'augmentation de température T= 580 °C.

delivered	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	417143.12	
	17	Reheater	2	63252.33	
					480395.44
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3202.57	
	19	Pump	8	1218.22	
	20	Pump	8	3982.19	
					8402.97
Delivered net power					201597.03
Efficiencies	gross			43.714 %	
	net			41.965 %	

Tableau IV-5 : tableau de l'efficacité énergétique après que T=580 °C.

III.3.2.2 Rendement en fonction de pression

P = 130 bar : En exécutant le programme avec la nouvelle pression on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement.

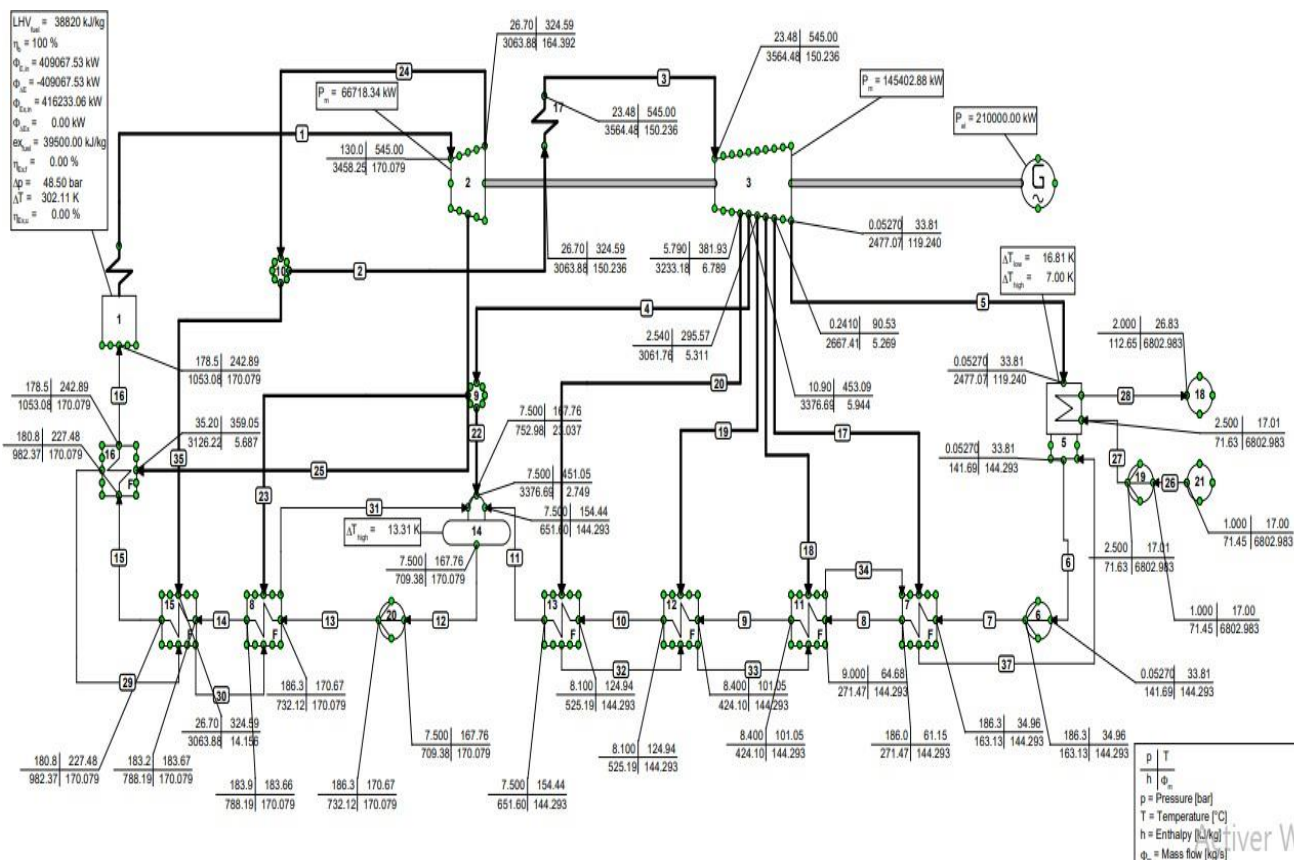


Figure IV.14 : Résultat après l'augmentation de pression P= 130 bar.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	409067.53	484275.09
	17	Reheater	2	75207.58	
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3248.90	8541.10
	19	Pump	8	1235.88	
	20	Pump	8	4056.31	
Delivered net power					201458.91
Efficiencies	gross			43.364 %	
	net			41.600 %	

Tableau IV-6: tableau de l'efficacité énergétique après que P=130 bar.

P = 140 bar :

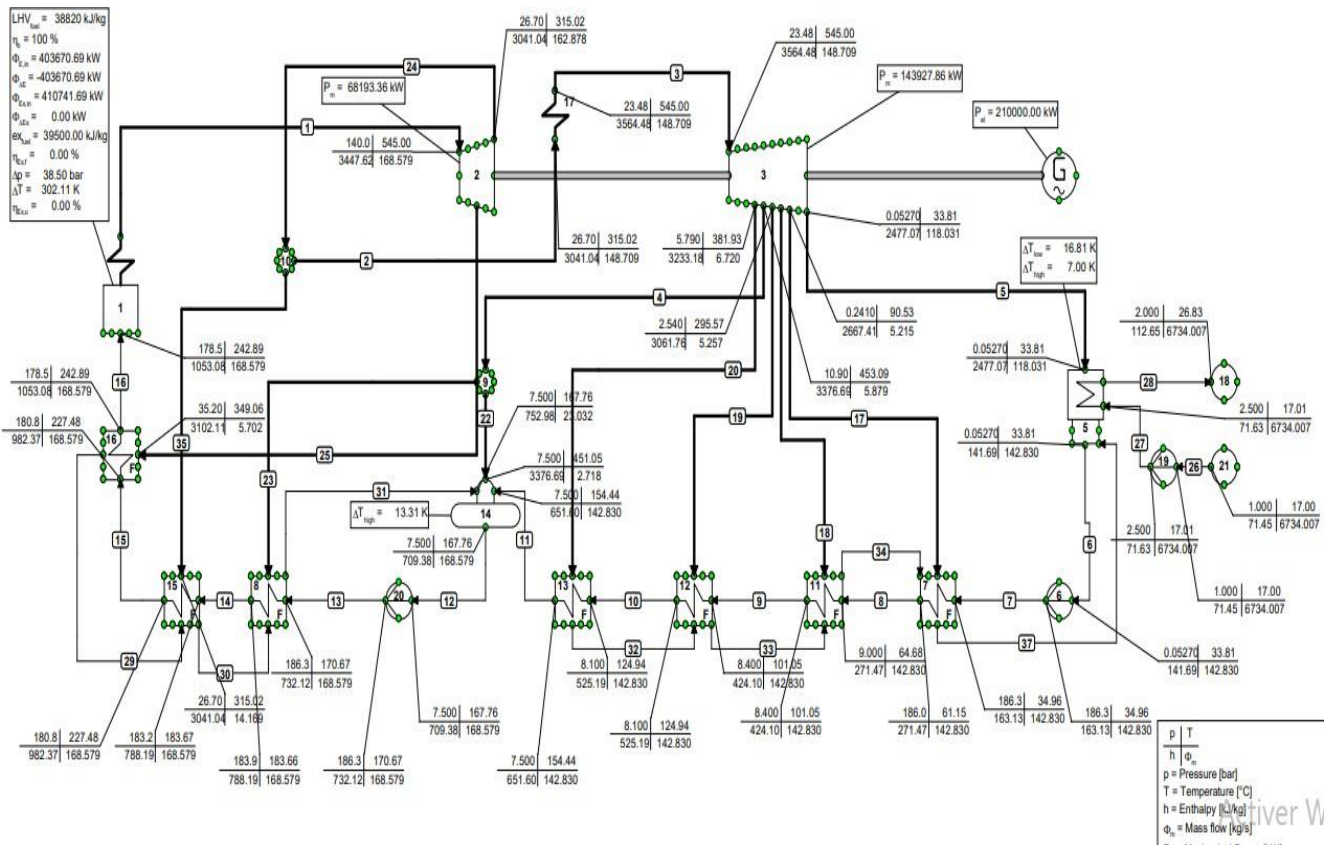


Figure IV-15 : Résultat après l'augmentation de pression P= 140 bar.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	403670.69	481510.59
	17	Reheater	2	77839.89	
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3216.08	8460.16
	19	Pump	8	1223.37	
	20	Pump	8	4020.71	
Delivered net power					201539.84
Efficiencies	gross			43.613 %	
	net			41.856 %	

Tableau IV-7: tableau de l'efficacité énergétique après que P=140 bar.

P = 150 bar :

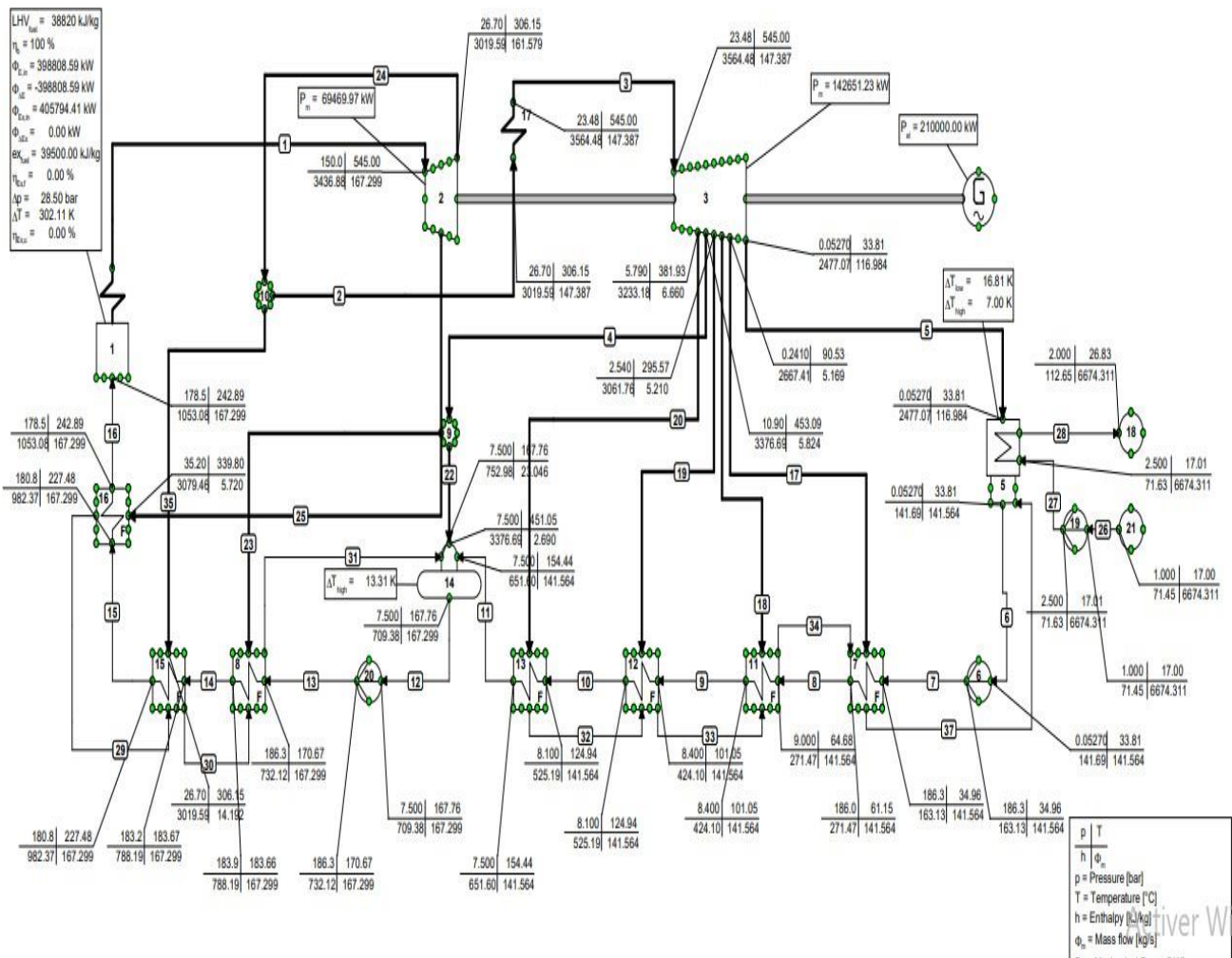


Figure IV-16 : Résultat après l'augmentation de pression P= 150 bar.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	398808.59	
	17	Reheater	2	80309.05	
					479117.62
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3187.67	
	19	Pump	8	1212.54	
	20	Pump	8	3990.32	
					8390.53
Delivered net power					201609.47
Efficiencies	gross			43.831 %	
	net			42.079 %	

Tableau IV-8: tableau de l'efficacité énergétique après que P=150 bar.

P = 160 bar :

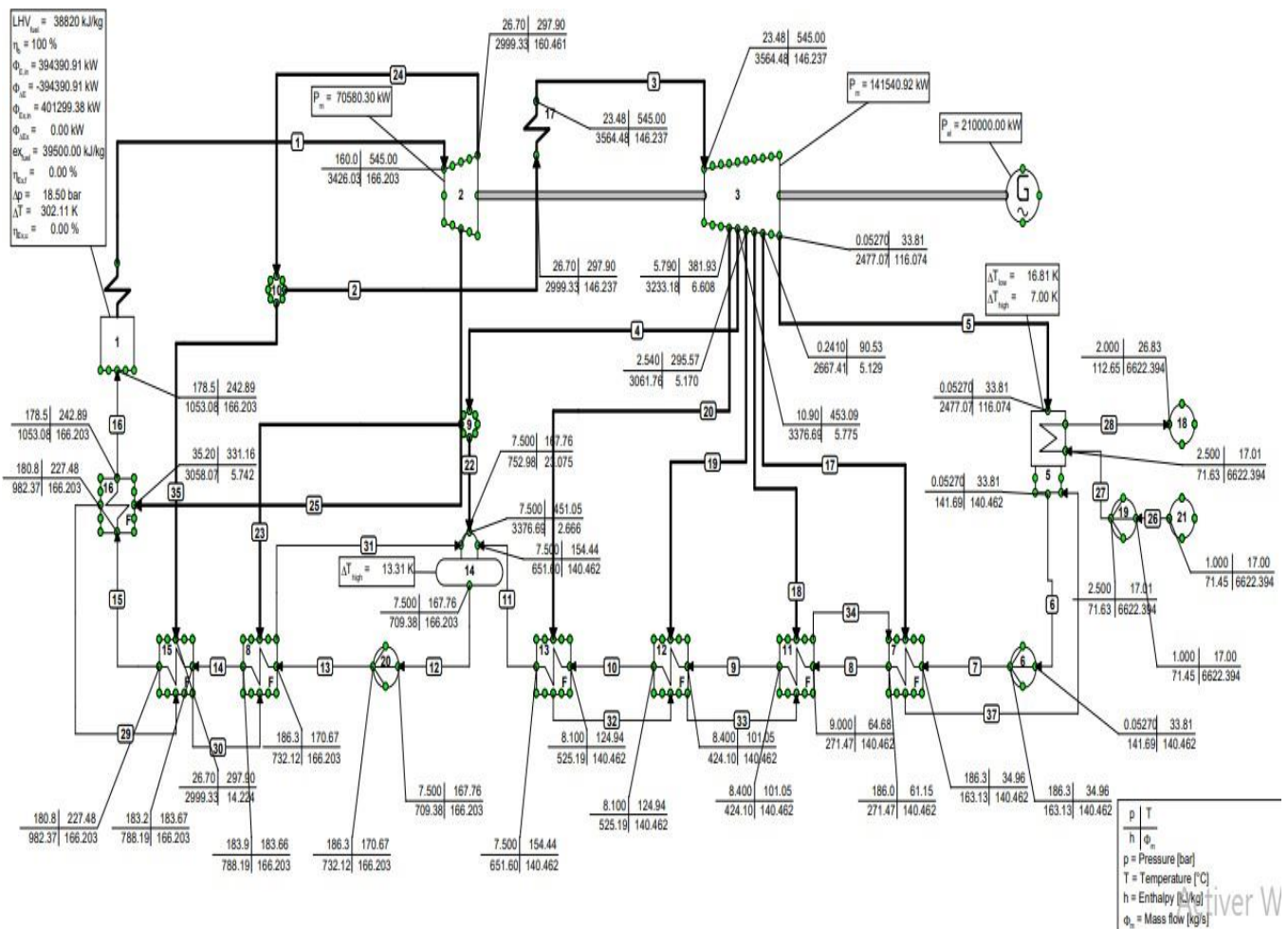


Figure IV-17 : Résultat après l'augmentation de pression P= 160 bar.

delivered	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	394390.91	
	17	Reheater	2	82645.16	477036.09
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3162.96	
	19	Pump	8	1203.12	
	20	Pump	8	3964.29	8330.37
Delivered net power					201669.62
Efficiencies	gross			44.022 %	
	net			42.276 %	

Tableau IV-9 : tableau de l'efficacité énergétique après que P=160 bar.

III.3.2.3 Rendement en fonction de pression et de température

P = 160 bar et T = 580°C : En exécutant le programme en variant la température et la pression au même temps, on obtient des résultats différents et on remarque une augmentation de rendement.

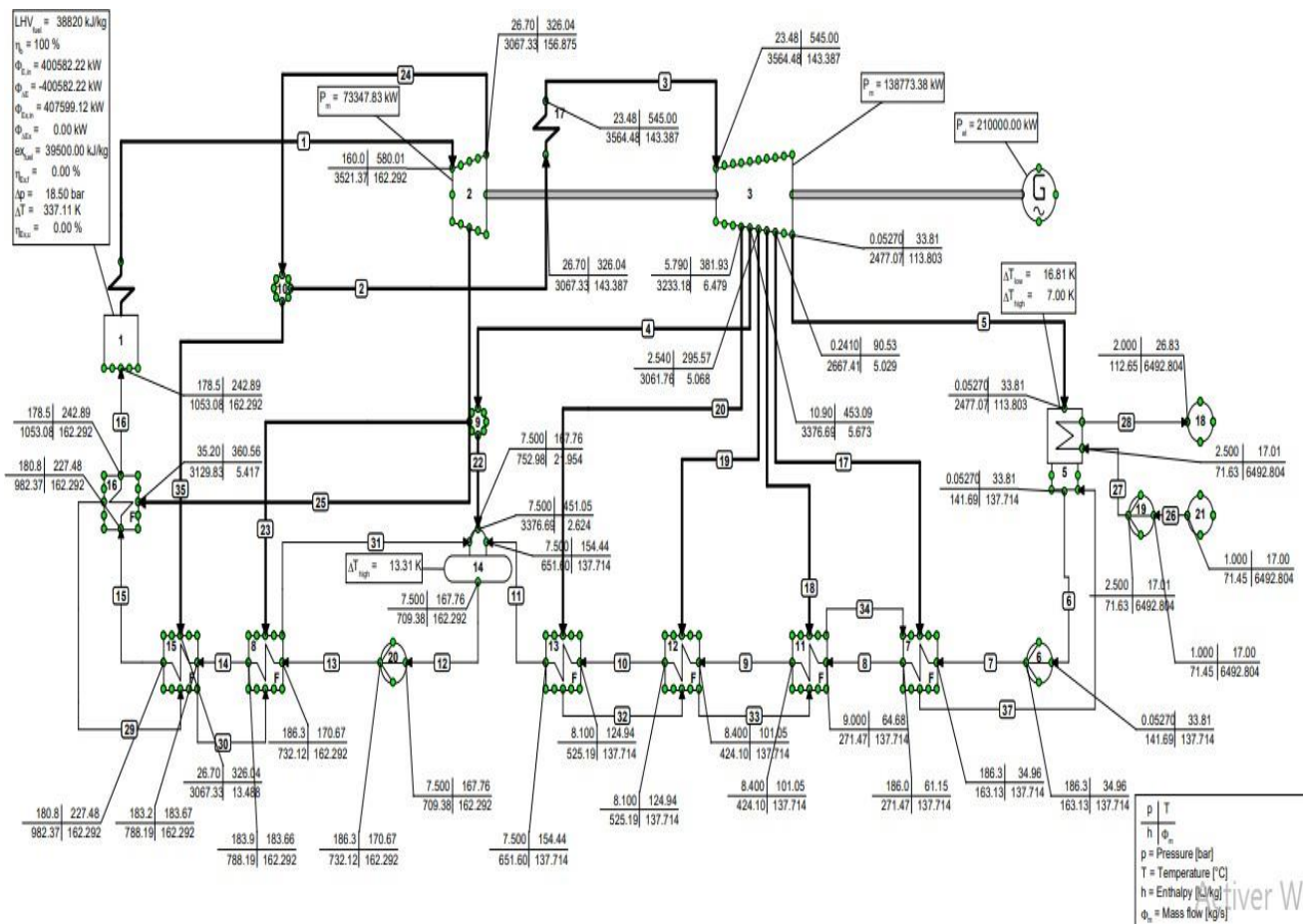


Figure IV-18: Résultat après que P =160 bar et T =580°C.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed	1	Boiler	1	400582.22	
power	17	Reheater	2	71284.86	
					471867.06
Delivered	1	Generator	G	210000.00	
gross power					210000.00
Aux. power	6	Pump	8	3101.28	
consumption	19	Pump	8	1179.60	
	20	Pump	8	3871.40	
					8152.28
Delivered					
net power					201847.72
Efficiencies	gross			44.504 %	
	net			42.776 %	

Tableau IV-10: tableau de l'efficacité énergétique après que $P=160$ bar et $T = 580^{\circ}\text{C}$.

III.3.2.4 Le rendement en ajoutant un soutirage

En ajoutant un soutirage pour la centrale En exécutant le programme tout en gardant la température et la pression à leurs valeurs on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement.

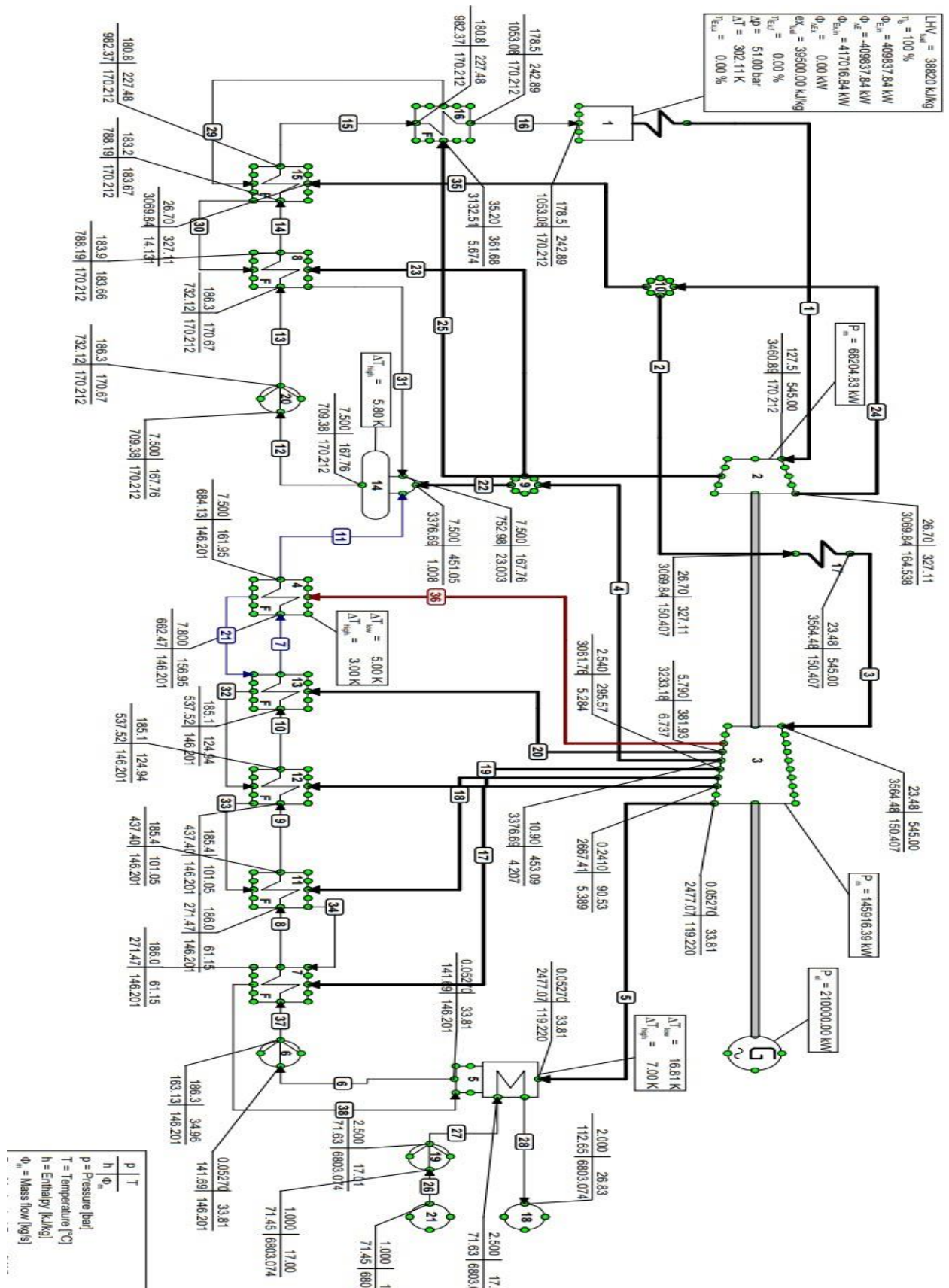


Figure IV-19 : Résultat après l'ajout du soutirage.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	409837.84	484234.88
	17	Reheater	2	74397.04	
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3291.71	8587.09
	19	Pump	8	1235.90	
	20	Pump	8	4059.48	
Delivered net power					201412.91
Efficiencies	gross			43.367 %	
	net			41.594 %	

Tableau IV-11: tableau de l'efficacité énergétique après l'ajout du soutirage.

III.3.2.5 Le rendement en fonction de température après l'ajout du soutirage

En ajoutant un soutirage pour la centrale En exécutant le programme tout en variant la température on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement.

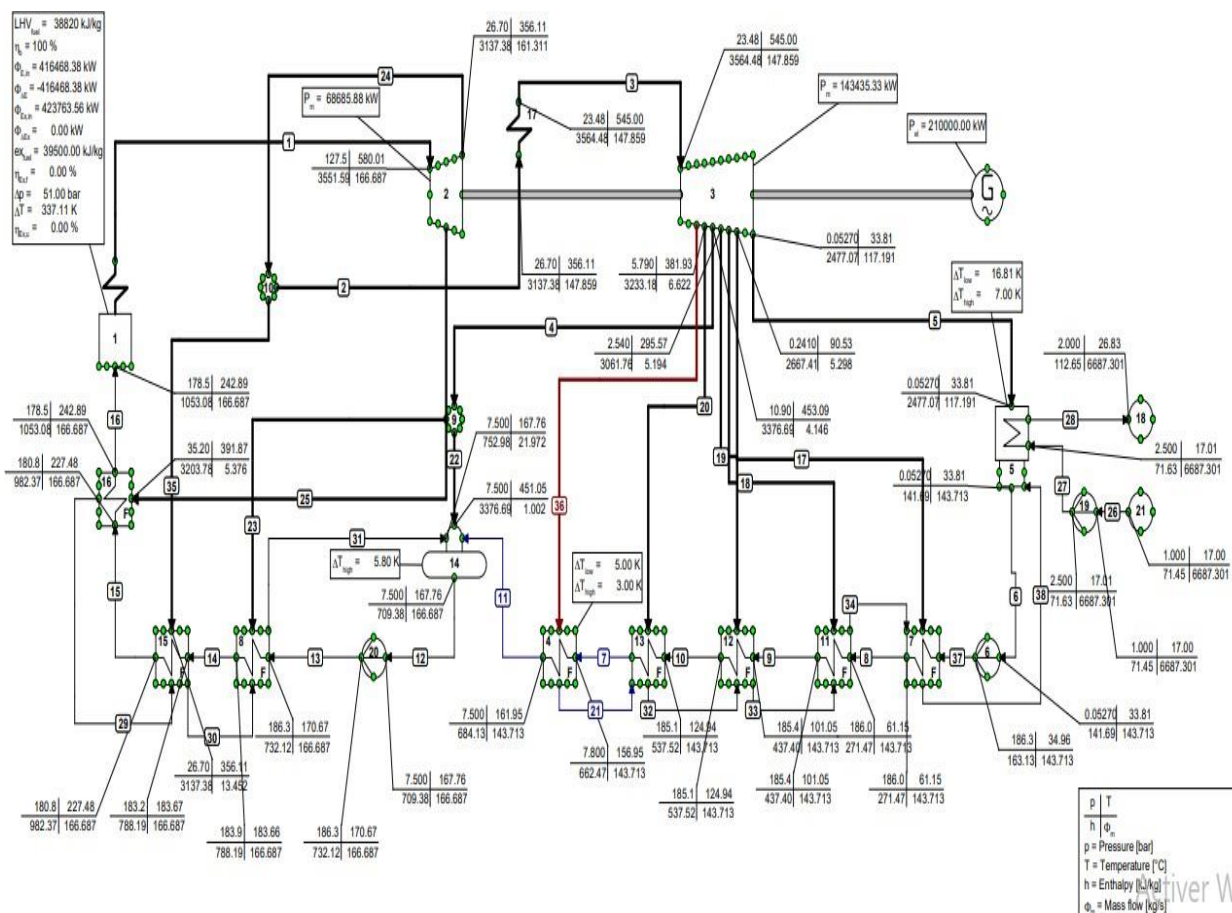


Figure IV-20 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que T=580°C.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	416468.38	
	17	Reheater	2	63150.02	
					479618.41
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3235.89	
	19	Pump	8	1214.89	
	20	Pump	8	3975.78	
					8426.56
Delivered net power					201573.44
Efficiencies	gross			43.785 %	
	net			42.028 %	

Tableau IV-12: tableau de l'efficacité énergétique et après l'ajout du soutirage ainsi que T=580°C.

III.3.2.6 Le rendement en fonction de pression après l'ajout du soutirage

En ajoutant un soutirage pour la centrale En exécutant le programme tout en variant la pression on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement.

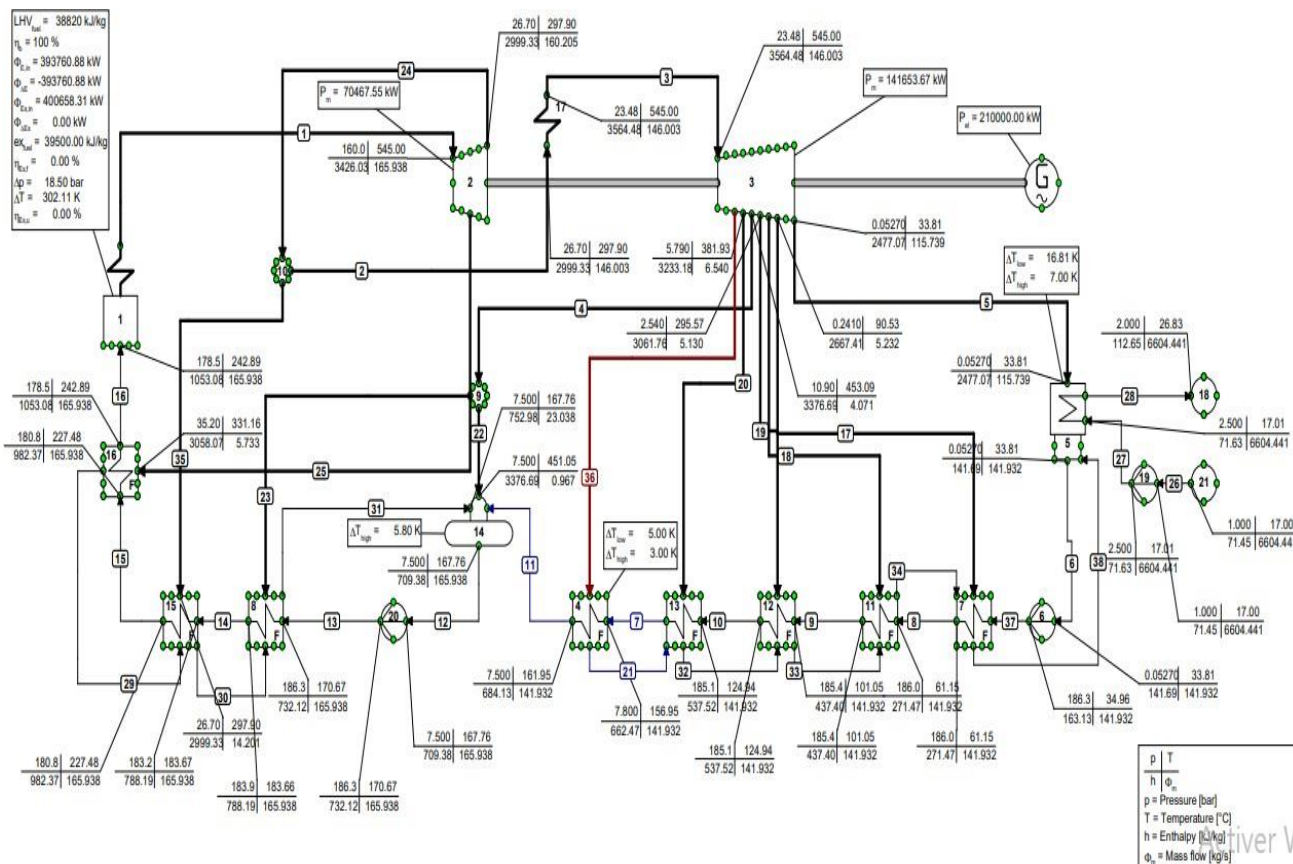


Figure IV-21 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que P = 160 bar.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	393760.88	
	17	Reheater	2	82513.13	
					476274.03
Delivered gross power	1	Generator	G	210000.00	
					210000.00
Aux. power consumption	6	Pump	8	3195.94	
	19	Pump	8	1199.86	
	20	Pump	8	3957.99	
					8353.78
Delivered net power					201646.22
Efficiencies	gross			44.092 %	
	net			42.338 %	

Tableau IV-13: tableau de l'efficacité énergétique après l'ajout du soutirage ainsi que P = 160 bar.

III.3.2.7 Le rendement en fonction de pression et de température après l'ajout du soutirage

En ajoutant un soutirage pour la centrale En exécutant le programme tout en variant la température et la pression on obtient des résultats différents et on remarque une légère augmentation de rendement.

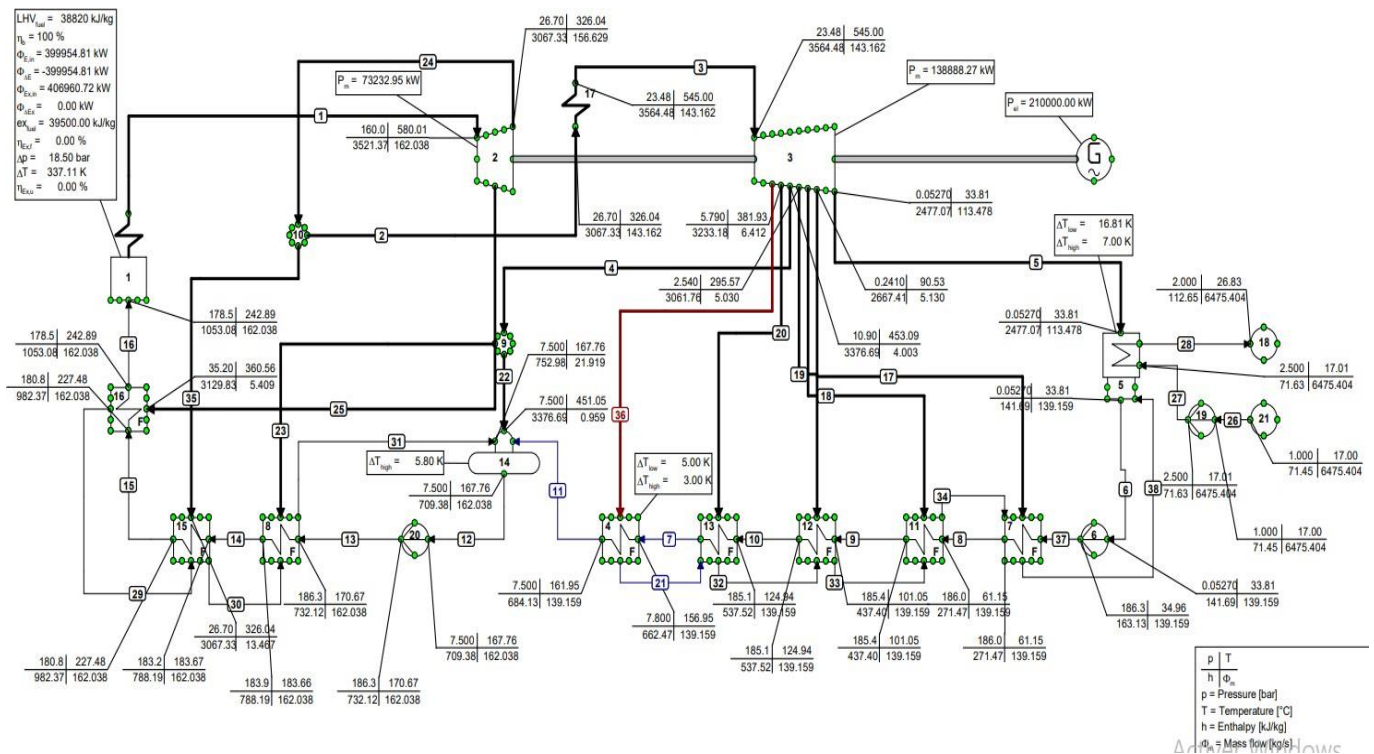


Figure IV-22 : Résultat après l'ajout du soutirage ainsi que T=580°C et P= 160 bar.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed	1	Boiler	1	399954.81	
power	17	Reheater	2	71173.21	
					471128.00
Delivered	1	Generator	G	210000.00	
gross power					210000.00
Aux. power	6	Pump	8	3133.71	
consumption	19	Pump	8	1176.45	
	20	Pump	8	3865.36	
					8175.52
Delivered					
net power					201824.48
Efficiencies	gross			44.574 %	
	net			42.839 %	

Tableau IV-14: tableau de l'efficacité énergétique après l'ajout du soutirage ainsi que $T=580^{\circ}\text{C}$ et $P=160$ bar.

III.3.3 Discussions des résultats

La présente étude visait à optimiser une centrale à vapeur à deux turbines haute pression (THP) et basse pression (TBP) en manipulant les paramètres de température, de pression et en ajoutant des soutirages supplémentaires. Les résultats obtenus ont été analysés et interprétés pour évaluer le rendement de la centrale.

Pression (bar)	Rendement sans soutirage (%)	Rendement sans soutirage (%)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Rendement sans soutirage (%)	Rendement sans soutirage (%)
125	41,458	41,522	545	41,531	41,594
130	41,600	41,664	550	41,594	41,657
135	41,732	41,796	555	41,657	41,720
140	41,856	41,919	560	41,719	41,783
145	41,971	42,034	565	41,781	41,845
150	42,079	42,142	570	41,843	41,906
155	42,181	42,243	575	41,904	41,967
160	42,276	42,338	580	41,965	42,028
165	42,365	42,427	585	42,025	42,088
170	42,448	42,511	590	42,085	42,148

Tableau IV-15 : Les rendement obtenu après l'optimisation.

Température	Pression	Rendement avec soutirage	Rendement sans soutirage
545	125	41,522	41,458
550	130	41,728	41,664
555	135	41,926	41,863
560	140	42,119	42,052
565	145	42,306	42,243
570	150	42,488	42,426
575	155	42,666	42,603
580	160	42,839	42,776
585	165	43,008	42,946
590	170	43,173	43,111

Tableau IV-16 : Résultats de rendement en fonction de pression et de température.

Nous avons analysé l'effet de variations de la température et de la pression de sortie de la chaudière sur le rendement de la centrale. De plus, nous avons également ajouté un soutirage à la turbine basse pression pour évaluer son impact sur le rendement. Nous avons discuté des résultats obtenus à partir de deux graphes montrant l'évolution du rendement en fonction de la température et de la pression. Ensuite on a réalisé un troisième graphe qui met en évidence l'augmentation considérable du rendement de la centrale en combinant une augmentation de la pression et de la température avec et sans soutirage.

En observant les trois scénarios, nous pouvons tirer plusieurs observations importantes concernant le rendement de la centrale à vapeur. Tout d'abord, dans les deux premiers cas où nous avons étudié séparément l'effet de la température et de la pression, nous remarquons une tendance claire : à mesure que la température et la pression augmentent, le rendement de la centrale s'améliore.

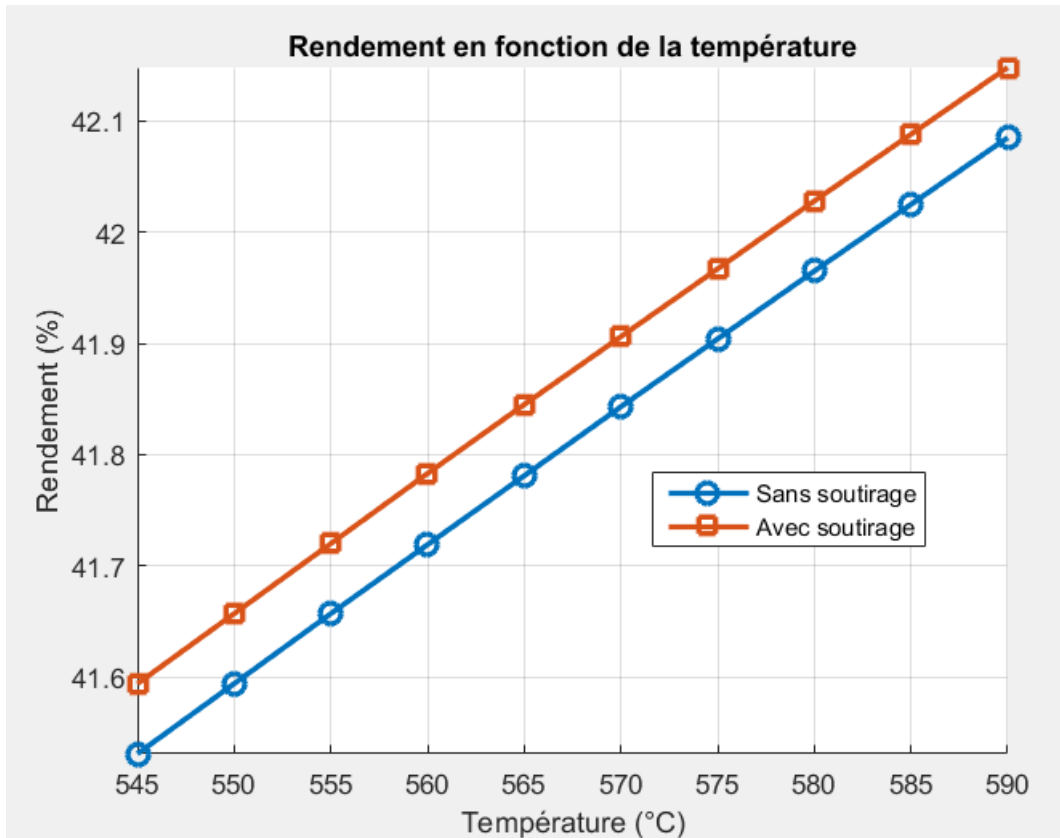


Figure IV-23 : Le rendement en fonction de température.

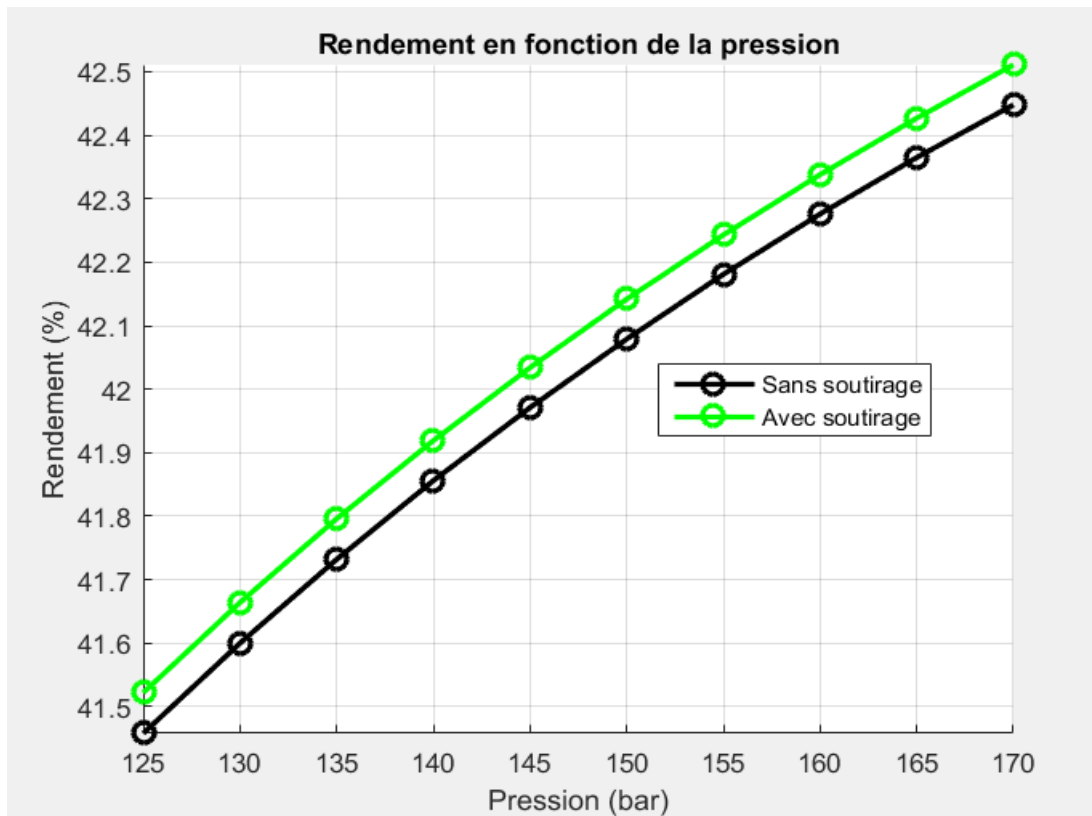


Figure IV-24 : Le rendement en fonction de pression.

Ensuite, en combinant une augmentation de la pression et de la température et en observant les deux situations avec et sans soutirage, nous constatons une augmentation significative du rendement dans les deux cas. Sans soutirage, l'augmentation du rendement est légèrement atteignant à 43.11% lorsque la température est fixée à 590°C et la pression à 170 bar. Avec l'ajout du soutirage, nous observons une augmentation du rendement jusqu'à 43.17 %.

Ces observations soulignent l'importance de l'optimisation du cycle de la centrale à vapeur en considérant à la fois la température, la pression et l'ajout du soutirage. La combinaison de ces paramètres permet d'obtenir des améliorations significatives du rendement, ce qui est essentiel pour maximiser le rendement de la centrale.

L'augmentation de la pression et de la température joue un rôle clé dans l'optimisation. Lorsque la pression et la température de sortie de la chaudière sont augmentées, cela permet d'obtenir une vapeur à plus haute énergie, ce qui se traduit par une meilleure conversion de l'énergie thermique en électricité. Ainsi, le rendement de la centrale s'améliore, ce qui signifie que davantage d'énergie est convertie en travail utile.

En ce qui concerne l'ajout du soutirage, il offre également des avantages significatifs en augmentant le rendement global de la centrale. Le soutirage consiste à extraire de la vapeur à des stades spécifiques de la turbine et à l'utiliser pour alimenter des échangeurs de chaleur supplémentaires. Cette extraction permet de récupérer de la chaleur résiduelle et de l'utiliser de manière plus efficace, améliorant ainsi le rendement global de la centrale. En utilisant le soutirage, la centrale parvient à exploiter davantage l'énergie thermique disponible, réduisant ainsi les pertes et optimisant la conversion de chaleur en travail.

Sur le plan environnemental, ces optimisations ont également des avantages importants. En améliorant le rendement de la centrale, on parvient à maximiser l'utilisation des ressources énergétiques disponibles, réduisant ainsi la consommation de combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre associées. Une centrale plus efficace émet moins de polluants atmosphériques, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et à la lutte contre le changement climatique.

Cependant, il est important de prendre en compte certaines limites de l'étude du point de vue énergétique. Il faut évaluer la faisabilité technique de ces modifications et étudier en détail les performances des équipements et des matériaux utilisés dans la centrale à vapeur. La durabilité des matériaux est un aspect crucial, car les hautes températures et pressions peuvent affecter

leur résistance et durabilité. Il est également essentiel d'évaluer la viabilité financière de ces améliorations, en tenant compte des investissements nécessaires et des coûts associés à l'installation d'échangeurs de chaleur supplémentaires. Une analyse approfondie de ces aspects est nécessaire pour garantir la fiabilité, la sécurité et l'efficacité de ces modifications.

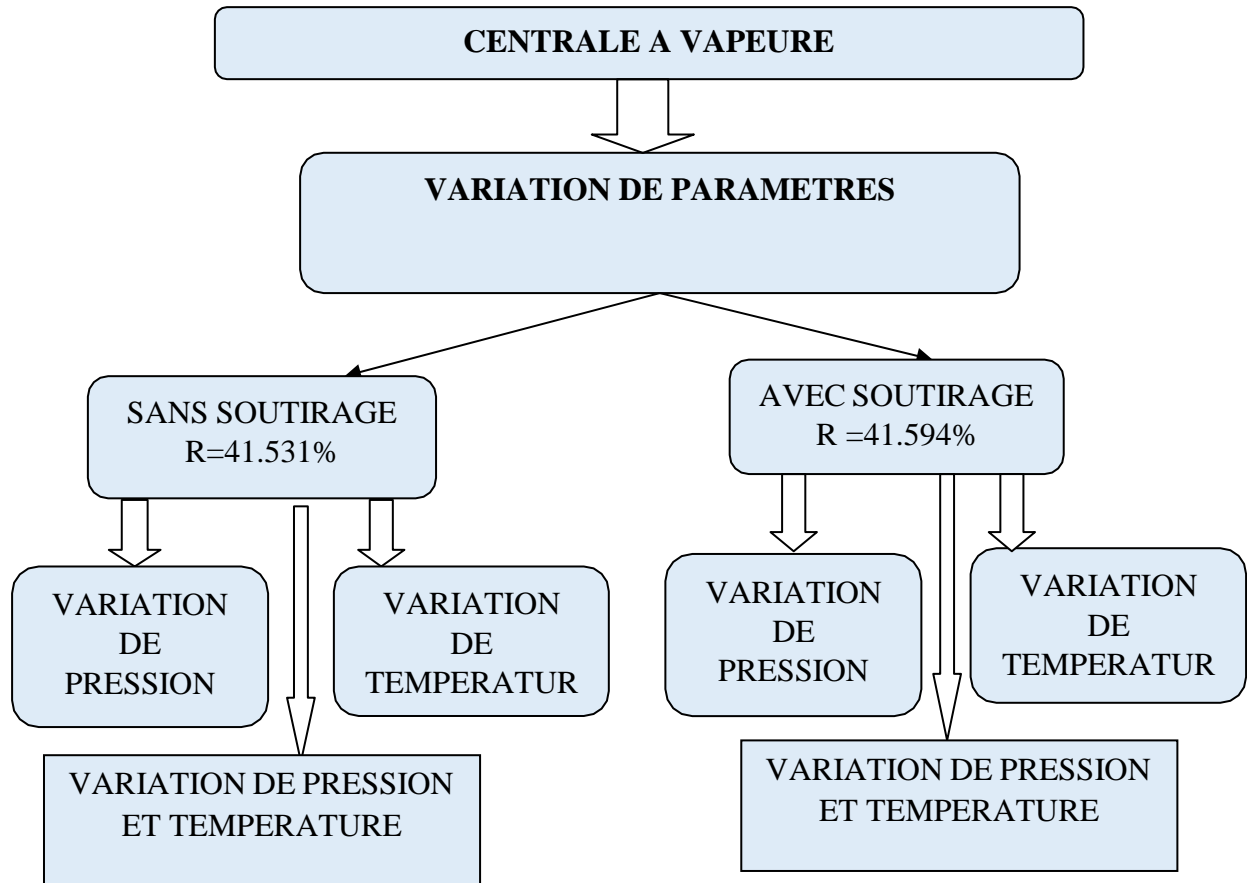


Figure IV-25 : Schéma des résultats.

III.4 Conclusion

L'optimisation d'une centrale thermique vise à améliorer son rendement énergétique. L'augmentation de la température et de la pression à la sortie de la chaudière ainsi que l'ajout de soutirages supplémentaires pour la turbine basse pression ont montré des résultats positifs. Ces modifications permettent d'optimiser l'utilisation de l'énergie thermique et d'augmenter l'efficacité globale de la centrale. L'optimisation des centrales thermiques contribue à une utilisation plus efficace des ressources énergétiques.

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire s'est focalisé sur l'optimisation des centrales à vapeur afin d'améliorer leur efficacité énergétique. En utilisant le logiciel Cycle-Tempo et en variant la pression et la température, nous avons exploré les possibilités d'optimisation pour maximiser le rendement et minimiser l'impact environnemental.

Cette étude a souligné l'importance de l'optimisation industrielle des systèmes énergétiques, en mettant en évidence les avantages de cette approche pour améliorer l'efficacité énergétique.

En analysant les effets de la variation des paramètres sur le rendement de la centrale, nous avons démontré qu'il est possible d'optimiser les centrales à vapeur en ajustant la température, la pression et le soutirage.

Les résultats de cette étude ont des implications significatives pour l'industrie de l'énergie, offrant des opportunités pour concevoir et exploiter des centrales plus performantes et durables.

Cependant, il est important de noter que cette étude est théorique et qu'elle nécessite une validation expérimentale pour confirmer les résultats.

Pour aller de l'avant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour explorer d'autres possibilités d'optimisation et intégrer des technologies plus avancées, telles que la cogénération et les sources d'énergie renouvelable.

En conclusion, l'optimisation des centrales à vapeur est cruciale pour répondre à la demande croissante en énergie de manière efficace et durable. Ce mémoire a contribué à cette problématique en fournissant une compréhension approfondie des principes fondamentaux des systèmes énergétiques, des méthodes d'optimisation et de leur application pratique aux centrales à vapeur. En continuant à explorer de nouvelles voies d'optimisation, nous pourrions progresser vers un avenir énergétique plus efficace, respectueux de l'environnement et économiquement viable.

Références Bibliographiques

- [1] M. M. M. A. anfaf, *CONTRIBUTION A LA MODELISATION ET A L'OPTIMISATION DES SYSTEMES ENERGETIQUES MULTI-SOURCES ET MULTI-CHARGES.*, L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE.
- [2] H. v. d. K. Kornelis Blok, *Introduction to Energy Analysis*.
- [3] M. Feidt, *Les systèmes thermiques : de la thermodynamique à la conception*, Presses des Mines, 2010.
- [4] L. Tournier, *Les hydrauliques industrielles*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2009.
- [5] d. J.-A. D. e. V. Malmedd, *Optimisation numérique : aspects théoriques et pratiques*.
- [6] S. MAQROT, *Méthodes d'optimisation combinatoire en programmation mathématique. Application à la conception des systèmes de verger-maraîcher*, DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, soutenue le 23/09/2019.
- [7] M. Bournat, *Méthodes déterministes de l'optimisation sous contraintes en grandedimension*, (Université de Nantes, 2014.
- [8] D. Ali, : *Optimisation des Réseaux. CHAPITRE 6 : Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Métaheuristiques*, Université de M'sila, 2022-2023.
- [9] C. Dhaenens-Flipo, *Optimisation Combinatoire Multi-Objectif : Apport des méthodes coopératives et contribution à l'extraction de connaissances*, Université des Sciences et Technologies de Lille, présentée et soutenue publiquement, le 05 Octobre 2005.
- [10] F. Michel, *Thermodynamique et optimisation énergétique des systèmes et procédés*,
- [11] ASIMPTOTE, *Cycle-tempo manual*.
- [12] Islem Meriche, Adem Chemoul, Taqiy Eddine Boukelia. *Analyse 4e (énergétique-exèrgetique-économique-environnementale) d'une centrale thermique à vapeur* *Memoire de MASTER. Université de Jijel. 2020.*
- [13] Islem Meriche, Adem Chemoul, Taqiy Eddine Boukelia. *4E (ENERGETIC-EXERGETIC-ECONOMIC-ENVIRONMENTAL) ANALYSIS OF A STEAM POWERPLANT. REVUE ROUMAINE DES SCIENCES TECHNIQUES-SERIE ELECTROTECHNIQUE ET ENERGETIQUE. Vol 67, No 02. 2022..*
- [14] Islem Meriche, Adem Chemoul, Taqiy Eddine Boukelia. *4E (Energy-Exergy-Economic-*

*Environmental) performances assessment of different configurations of power cycles.
International Journal of Enegetica. Vol 06, No 02. 2017.*

Annexes

Annexe 1 : donnée de la centrale de achouat (Jijel).

<i>Point</i>	<i>Paramètre</i>	<i>Donnée constructeur</i>
<i>Entrée de la chaudière</i>	Température (°C) Pression (bar) Débit massique de vapeur (kg/s)	244 178,5 171,5
<i>Sortie de la THP</i>	Température (°C) Pression (bar) Débit massique de vapeur (kg/s)	329 26,7 160,27
<i>Entrée de la TMP</i>	Température (°C) Pression (bar) Débit massique de vapeur (kg/s)	540 23,48 148,22
<i>Sortie du condenseur</i>	Température (°C) Pression (bar) Débit massique de vapeur (kg/s)	33,5 0,0527 125,25
<i>Sortie des dés aérateur</i>	Température (°C) Pression (bar) Débit massique de vapeur (kg/s)	169,2 6,9 171,5

Annexe 2 : valeur intégré dans le logiciel.

<i>Point</i>	<i>Paramètre</i>	<i>VALEURE INTEGREE SUR LOGICIELE</i>
CHAUDIERE	PRESSION D'ENTREE (bar) PRESSION DE SORTIE (bar) TEMPERATURE DE SORTIE (°C)	$P_{IN}=178,5$ $P_{out}=127,5$ $T_{out}=545$ LHV=38820 EX FUEL=39500
TURBINE BASSE PRESSION TURBINE HAUT PRESSION	RENDEMENT ISONTROPIQUE RENDEMENT ISONTROPIQUE	ETHAI= 0,852 ETHAI = 0,852
POMPE 1	RENDEMENT ISONTROPIQUE PRESSION DE SORTIE (bar)	ETHAM= 0,87 $P_{out} = 186,3$
RECHAUFFEUR	PRESSION D'ENTREE (bar) PRESSION DE SORTIE (bar) TEMPERATURE DE SORTIE (°C)	$P_{IN} = 26,7$ $P_{out} = 23,48$ $T_{out} = 545$ LHV= 38820 EX FUEL= 39500
MELANGEURE	PRESSION D'ENTREE (bar) PRESSION DE SORTIE (bar)	$P_{IN} = 7,5$ $P_{out} = 6,9$
POMPE 2	RENDEMENT ISONTROPIQUE	ETHAI= 0,87

Annexe 3 : valeur des préchauffeurs intégré au logiciel.

	Préchauffeu r1	Préchauffeu 2	Préchauffeu r3	Préchauffeu 4	Préchauffeu r5	Préchauffeu 6	Préchauffeu r7
$\Delta P1$ (bar)	0,3	0,6	0,3	0,6	2,4	2,4	2,3
$P_{in,2}$ (bar)	0,241	1,17	2,54	5,79	10,9	26,7	35,2
$\Delta P2$ (bar)	0	0	0	0	0	0	0
ΔT_L (°C)	5	5	5	5	7	7	7
ΔT_H (°C)	3	3	3	3	0	0	0

	$\Delta P1$ (bar)	$P_{in,2}$ (bar)	$\Delta P2$ (bar)	ΔT_L (°C)	ΔT_H (°C)
Préchauffeur après l'ajout de soutirage	0.3	7	0	5	3

Résumé

Cette étude se concentre sur l'optimisation des systèmes énergétiques pour améliorer leur performance et leur efficacité. Elle explore différents types de systèmes énergétiques tels que ceux utilisant la chaleur, l'eau, les machines, l'air comprimé et des combinaisons de ces éléments. On examine les avantages et les inconvénients de chaque type de système, ainsi que leur modélisation mathématique.

Ensuite, on aborde l'optimisation industrielle, qui consiste à trouver les meilleures solutions pour ces systèmes. Il existe différentes méthodes d'optimisation, comme la recherche exhaustive, les méthodes basées sur les gradients, les contraintes, les heuristiques et les méthodes multicritères.

Pour illustrer ces concepts, l'étude se concentre sur l'optimisation d'une centrale à vapeur spécifique. On examine comment la variation de la température, de la pression et l'ajout d'un soutirage peuvent améliorer le rendement de la centrale. Les résultats démontrent que l'optimisation permet d'obtenir de meilleures performances.

Cette recherche met en évidence l'importance de l'optimisation des systèmes énergétiques pour répondre de manière durable et rentable aux besoins croissants en énergie. Elle souligne également l'efficacité des méthodes d'optimisation pour améliorer les installations énergétiques.

Abstract

This study focuses on the optimization of energy systems to improve their performance and efficiency. It explores different types of energy systems such as those using heat, water, machines, compressed air, and combinations of these elements. The advantages and disadvantages of each type of system, as well as their mathematical modeling, are examined.

Next, industrial optimization is discussed, which involves finding the best solutions for these energy systems. There are different optimization methods, such as exhaustive search, gradient-based methods, constraints, heuristics, and multicriteria methods.

To illustrate these concepts, the study focuses on optimizing a specific steam power plant. The researchers examine how varying temperature, pressure, and adding extraction can improve the plant's efficiency. The results demonstrate that optimization leads to better performance.

This research highlights the importance of optimizing energy systems to sustainably and cost-effectively meet the growing energy needs. It also underscores the effectiveness of optimization methods in improving energy installations.