

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**



Département : énergétique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Option : énergétique et environnement

THEME

**Transformation d'un cycle à vapeur en un cycle combine :
solution pour la revalorisation de l'ancienne central thermique
de CAP-DJENAT**

Présenté par :

MERABET AMEUR Mohamed

HADDAR Ilyas

Promoteur

M^r : MANSOURI

Encadreur

M^r : TILIUINE

Année universitaire 2016-2017

Remerciements

Nous rendons grâce au bon Dieu qui nous a donné la force, la volonté, le courage et la patience qui nous ont permis de mener à terme ce modeste travail.

Au terme de ce travail, nous tenons, tout d'abord, à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons ensuite à exprimer nos plus vifs remerciements à notre encadreur Mr.MANSOURI , pour la qualité de son suivi; pour son précieuses orientations, méthodologiques notamment, et aussi pour son disponibilité jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à Mr ELHACHMI et Mr NADIR et à tous les enseignants de notre département d'énergétique qui nous ont aidé et enseigné durant notre cursus universitaire.

Nous adressons enfin nos remerciements aux bibliothécaires de FSI et Tizi-Ouzou , ainsi qu'à tous nos camarades qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soit par une aide, un encouragement, une prière ou même un sourire.

Nous voudrions aussi exprimer notre grande gratitude à nos familles, pour leur soutien

moral et leurs encouragements prodigués pendant toutes ces années d'étude et Mr MASSAOUDI Azzeddine qu'il nous a aidé tellement ainsi qu'à tous nos amis.

....MERCI À TOUS....

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers **Parents** qui m'ont donné tant d'amour et d'affection et m'ont appris à faire face aux difficultés et rester dans le droit chemin, je vous aime tellement et je ne vous remercierai jamais assez.*

*A mes chères sœurs **Houda et Nardjes** que j'aime plus que tout, à mes deux chers frères **Abd elrazzek et Rami** et à ma grand-mère maternelle **Douja** que j'aime beaucoup.*

A tous mes tantes et oncles, mes cousins et cousines.

*A mon cher binôme **Ilyes** avec lequel j'ai partagé joie, peine le long de cette année, j'ai fait de toi mon troisième frère.*

*Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à mes amis qui n'ont cessé de m'encourager et m'ont aidé : **Walid ; Sadek ; Mounir ; Saida et Titi** et pleins d'autres m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse.*

Mohamed

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la vie, qui se sont sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma très chère mère, à mon très cher père. Que dieu les gardes et les protège.

*à mes trois chers frères **Massi ; Said ; Amine***

A mes oncles, tantes, cousins, cousines et à toute la famille.

*A mon binôme **Mohamed** que j'ai partagé avec quel des moments inoubliable je te considère comme un quatrième frère.*

Ilyes

Sommaire

Introduction générale.

CHAPITRE I : Présentation de la centrale de Ras-Djinate.

1 – Introduction.....	2
2 - Description des différents composants de la centrale.....	2
2.1 – Turbine.....	2
2.2 – Chaudière.....	5
2.3 – Condenseur.....	9
2.4 – Pompes.....	11
2.5 – Réchauffeurs.....	12
2.6- Dégazeur.....	12
2.7 - Bâche alimentaire.....	12
2.8-Réfrigérants.....	13
2.9 - Ejecteur d'air à vapeur.....	14
2.10 – Alternateur.....	14
3 - Les différents circuits auxiliaires de la centrale.....	14
3.1 - Station de l'eau de mer.....	15
3.2 - Système traitement des eaux.....	15
3.3 - Poste de dépotage et transfert fuel.....	16
3.4 - Station de production d'hydrogène.....	16
3.5 - Evacuation de l'énergie.....	16
3.6 - Commande et contrôle.....	17
3.7 - Système de surveillance, d'alarme et d'analyse.....	17
3.8 - Salle de commande centralisée.....	17
4 - Principe de fonctionnement d'une centrale thermique.....	18
5 - Fonctionnement d'une tranche de production.....	18

CHAPITRE II : Description des soutirages et leurs effets sur les cycles thermodynamique

1-Princip de soutirage	22
2- Fonctionnement de circuit des soutirages.....	22
2-1 Turbine à vapeur.....	22
2-2 Turbine de la centrale de CAP-DJENNA.....	22
2-3 Les Réchauffeurs.....	23
3-Description des réchauffeurs.....	23
3-1 Réchauffeurs par mélange.....	23
3-2 Réchauffeur par surface.....	24
3-3 Réchauffeur basse pression (BP)	24
3-4 Réchauffeur Haute Pression.....	26
3-4-1 Réchauffeur Haute Pression HP5.....	27
3-4-2 Réchauffeur Haute Pression HP6.....	27
4- Principe de la Thermodynamique	28
4-1 Premiers principes de la thermodynamique pour un système ouvert	29
4-2 Premiers principes de la thermodynamique pour un cycle	29
4-3 Application du premier principe de la thermodynamique pour une installation Thermique.....	29
5-Définition thermique à vapeur	30
5-1 Cycles des centrales thermiques à vapeur	30
5-2 Cycle de Rankine	30
5-3 Cycle avec resurchauffe	31
5-4 Cycles avec resurchauffe et soutirages	32

CHAPITRE III : Calcul de cycle eau-vapeur

1. Introduction	33
2. Calcul de cycle eau- vapeur avec des réchauffeurs à haute pression et basse pression ...	37
2.1 Détermination des enthalpies en chaque point de cycle.....	38
2.2 Calcul du travail fourni par la turbine	39
2.3 Calcul de la quantité de chaleur cédée à la vapeur dans la chaudière Q.....	43
2.4 Calcul de rendement.....	43

3. Calcul de cycle eau- vapeur avec des réchauffeurs basse pression (avec suppression des réchauffeurs haute pression 5 et 6).	46
3.1 Calcul du travail fourni par la turbine W_T	46
3.2 Calcul du travail des pompes W_p	50
3.3 Calcul de la quantité de chaleur cédée à la vapeur dans la chaudière Q	52
3.4 Calcul de rendement.....	52
4. Conclusion.....	53

CHAPITRE IV : Simulation de cycle eau-vapeur

1. Introduction	54
2. But du chapitre	54
3. L'éditeur de schémas.....	54
4. Le simulateur	54
5. Les diagrammes thermodynamiques interactifs	54
6. Création du schéma sur Thermoptim.....	56
6.1 Application sur Thermoptim.....	56
6.2Création du schéma	57
7. Création et mise à jour des éléments du simulateur	58
8.Paramétrage des transfos	58
9.Calcul du rendement de cycle à vapeur par le résultat de thermoptim	59

CHAPITRE V: Etude énergétique de l'installation du central à cycle combine

1. Introduction	64
2. La solution de transformation choisie.....	64
3. Principe du fonctionnement de cycle combiné	64
4. Principaux élément du cycle combiné.....	65
4.1 La turbine à gaz	65
4.2Choix de la turbine à gaz (adaptation)	65
4.3 Description de la turbine à gaz siemens SGT5-400F.....	66
5. Principe de fonctionnement	68
5.1 Circuit TAG	68
5.2 Circuit TAV	68

6. Application sur ThermoOptim	69
6.1 Création du schéma.....	69
6.2 Création et mise à jour des éléments du simulateur.....	69
7. Conclusion	71

Conclusion générale

Annexes

Références bibliographique

Notations et symboles

Symbole	Unité	Définition
S	KJ/KgK	Entropie massique
H	KJ/Kg	Enthalpie massique
W_{THP}	KJ/Kg	Le travail de corps haut pression
W_{TMP}	KJ/Kg	Le travail de corps moyen pression
W_{TBP}	KJ/Kg	Le travail de corps bas pression
η_{mec}	%	Rendement mécanique
η_{pex}	%	Rendement pompe d'extraction
η_{PB}	%	Rendement de la pompe d'extraction
P_I	MW	La puissance indiquée
P_E	MW	La puissance de l'arbre de la turbine
P	MW	La puissance disponible aux bornes de l'alternateur
P_N	MW	La puissance de la pompe nourricière
η_{cyc}	%	Le rendement de cycle
P	BAR	La pression
t	C°	température
A_1	KG/S	Débit de soutirage

A ₂	KG/S	Débit de soutirage
A ₃	KG/S	Débit de soutirage
A ₄	KG/S	Débit de soutirage
A ₅	KG/S	Débit de soutirage
A ₆	KG/S	Débit de soutirage
HP	/	Corps haut pression
MP	/	Corps moyen pression
BP	/	Corps basse pression
A_{HP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace A pour le resurchauffeur.
B_{DHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace B à droite du palier HP .
B_{DHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace C à droite du palier HP
D_{DHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace D à droite du palier HP
B_{GHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace B à gauche du palier HP .
B_{GHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace C à gauche du palier HP
D_{GHP}	Kg/s	Fraction évacuée par l'espace D à gauche du palier HP

Liste de figures

Figure I.1 : Corps haut pression (HP).....	2
Figure I.2 : Corps moyenne pression (MP).....	3
Figure I.3 :Corps basse pression (BP).....	3
Figures I.4 : Bâche alimentaire.....	9
Figure I.5 :Constitution générale du condenseur.....	13
Figures I.6 :Salle de commande	15
Figures I. 7:Plan de masse centrale thermique cap djinat	17
Figures I.8 :Principaux éléments d'une tranche de production.....	21
Figures II .1 : Schéma synoptique d'une tranche.....	27
Figure II.2 : Cycle de Rankine.....	31
Figure II.3 : Cycle avec resurchauffe.....	31
Figure II.4 : Diagramme entropique du cycle avec resurchauffe.....	32
Figure II.5 : Cycle avec resurchauffe et soutirages.....	33
FigureIII.1 : Schéma de circuit eau vapeur centrale thermique RAC DJENAT.....	35
Figure III.2 :Schéma du circuit eau vapeur de la centrale thermique de RAC DJENAT Sans soutirage s5 et s6.....	47
Figure IV.1 : Création du schéma du cycle vapeur (s6,s5).....	59
Figure IV.2 :Création du schéma du cycle vapeur (s4,s3,s2,s1).....	60
Figure IV.3 :Ecran du simulateur le bilan global du schéma.....	61
Figure IV.4 : Ecran du simulateur et bilan globale du schéma (figure IV.2).....	62
Figure IV-5 :Résultats de la simulation de (figure IV.1).....	63
Figure IV-6 : Résultats de la simulation de (figure IV.2).....	64
Figure IV-7 : Cycle à vapeur de la centrale sur diagramme d'entropie.....	65
Figure V.1 :Cycle combine.....	67

Figure V.2 : Principe fonctionnement d'un cycle combine.....	69
Figure V.3 : Création du schéma de cycle combine.....	70
Figure V-4 : Ecran du simulateur avec le bilan global du cycle combine.....	71
Figure V-5 : Résultats de la simulation de la tranche transformée en cycle combine.....	72

Liste de Tableau

Tableau I-1 : Caractéristiques de la surchauffeur.....	8
Tableau I-2 : Caractéristiques du resurchauffeur.....	8
Tableau I-3 : Caractéristiques du désurchauffeur.....	9
Tableau II-1 : Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP5.....	27
Tableau II-2 : Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP6.....	28
Tableau V.1 : marques de TAV Les plus répondue.....	45
Tableau V.2 : caractéristique turbine à gaz SGT5-4000F.....	47

Résumé

Une simulation de l'adaptation d'une turbine à vapeur de RAS DJINAT avec une turbine à gaz c'est à dire simuler un cycle combine qui permet d'augmenter la production de l'électricité et dépensé moins d'argent.

Les différentes parties de l'étude que nous avons menée sont les suivantes :

Le premier chapitre consiste à décrire la centrale thermique de RAS DJINET, dans le deuxième, on fait la description des soutirages et leur effets sur le cycle thermodynamique, le troisième on a réalisé le calcul thermodynamique et simulation de l'installation avec six soutirages et quatre soutirages dans Le quatrième chapitre on a présente est défini notre centrale modifiée (cycle combine) et ses différente composants, le cinquième et dernier chapitre est réserve à la simulation de l'installation du cycle combinée modifier sur thermoptim, Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale reflétant les résultats obtenues

Introduction générale

La production de l'énergie est un bon indice du développement économique d'un pays car elle est la base de presque toutes les activités industrielles, la croissance rapide de la consommation de cette énergie ainsi que le développement industriel nécessite un réseau capable d'assurer en permanence ces besoins.

La centrale thermique est une source importante d'énergie électrique qui fonctionne suivant un cycle thermodynamique, dont le rendement dépend particulièrement des températures de la source chaude et la source froide.

Pour que la centrale puisse répondre à la demande croissante en électricité avec les moyens les plus économiques, deux solutions pouvant être proposées:

- construire une nouvelle centrale thermique.
- Faire une modification sur l'ancien centrale thermique

Le travail que nous avons réalisé est de faire une étude thermodynamique de la centrale thermique de RAS DJINATE et une simulation du cycle eau vapeur sur le logiciel thermoptim est réalisée :

- ✓ Avec six soutirages
- ✓ Avec quatre soutirages

Une simulation de l'adaptation d'une turbine à vapeur de RAS DJINAT avec une turbine à gaz c'est à dire simuler un cycle combine qui permet d'augmenter la production de l'électricité et dépensé moins d'argent.

Les différentes parties de l'étude que nous avons menée sont les suivantes :

Le premier chapitre consiste à décrire la centrale thermique de RAS DJINET, dans le deuxième, on fait la description des soutirages et leur effets sur le cycle thermodynamique, le troisième on a réalisée le calcul thermodynamique et simulation de l'installation avec six soutirages et quatre soutirages dans Le quatrième chapitre on a présente est défini notre centrale modifiée (cycle combine) et ses différents composants, le cinquième et dernier chapitre est réservé à la simulation de l'installation du cycle combinée modifier sur thermoptim, Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale reflétant les résultats obtenues

1- Introduction

La centrale thermique de Cap Djinet est une centrale de production d'électricité, située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdes. Elle occupe une superficie de 35 hectares. Le choix de ce site est fait sur la base des critères suivants : [1]

- Proximité des consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia.
- Possibilité d'extension.
- Conditions du sous-sol favorable, ne nécessite pas de fondations profondes.

La centrale thermoélectrique de Cap Djinet, dont la construction a été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est composée de quatre groupes mono bloque d'une puissance unitaire de **168 Méga Watts** (borne alternateur) totalisant une capacité installée de **672 Méga Watts** (borne usine). [2]

Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ **160 bars** et de **530 m³/h** de débit.

2- Description des différents composants de la centrale

2.1 La turbine

La turbine est une machine qui convertit l'énergie thermique de vapeur en énergie mécanique, plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous forme mécanique. Pour générer de l'énergie mécanique dans des applications industrielles, la turbine doit être puissante et avoir un meilleur rendement, la turbine à vapeur est la plus approprié pour rencontrer ces exigences.

2.1. Classification

- Turbine à action

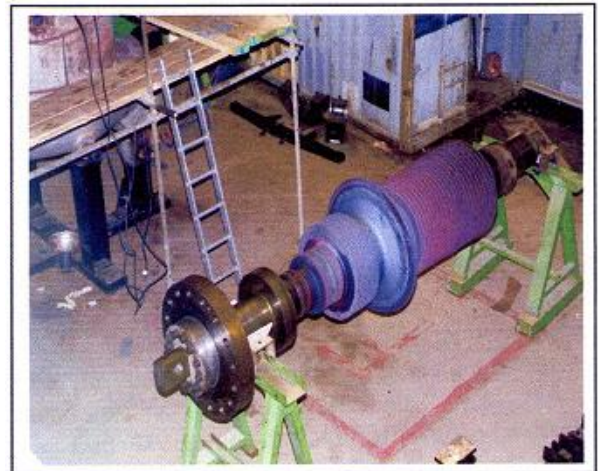
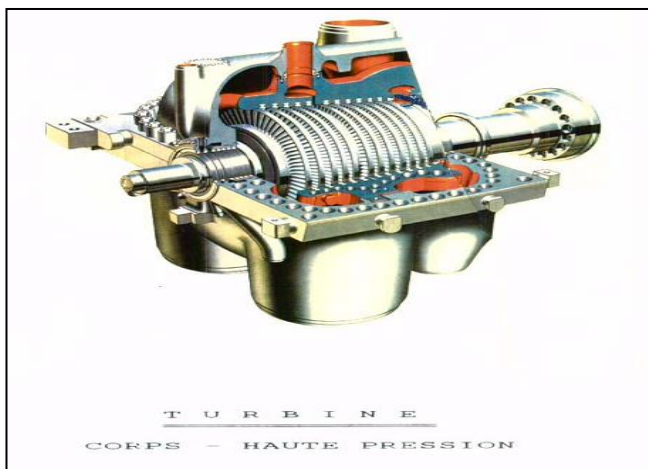
La vapeur se détend complètement au niveau du distributeur ou l'énergie thermique est totalement transformée en énergie de pression.

-Turbine à réaction

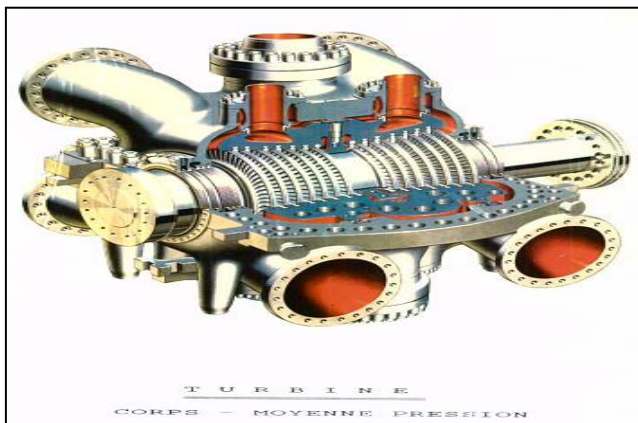
Une partie de la vapeur se détend au niveau de l'aubage fixe et l'autre continue pour se détendre dans l'aubage mobile qui suit. L'énergie thermique est transformée en énergie cinétique puis mécanique dans les canaux mobiles.

2.1 La turbine de la centrale de Cap-Djinet

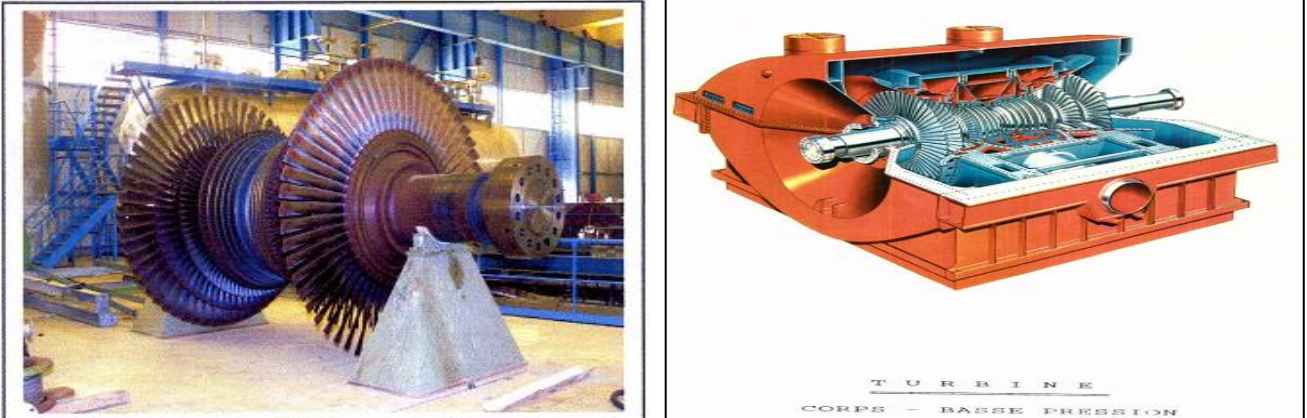
C'est l'élément le plus essentiel dans la centrale, elle transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entrainer l'alternateur. C'est une machine à une ligne d'arbre, composée de corps HP (Haute Pression), MP (Moyenne Pression), et BP (Basse Pression) séparés. Elle comporte (06) soutirages qui alimentent (03) réchauffeurs (BP), et (02) réchauffeurs (HP) et la bêche alimentaire. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont accouplés rigidement.



(Figure I.1) : Corps haut pression (HP)



(Figure I.2) : Corps moyenne pression (MP)



(Figure I.3) : Corps basse pression (BP)

Caractéristiques de la turbine

- Longueur : 16,125 m.
- Largeur : 13 m.
- Poids : 500.10^3 kg.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/min.
- Puissance : 176 MW (pleine charge).

- **Corps HP** : il est à simple flux avec un soutirage S6 qui alimente les réchauffeurs hauts pression (HP₆).

- A l'entrée du corps : Pression : 138 bars.
Température : 540°C.
- A la sortie du corps : Pression : 40 bars.
Température : 357°C.

- **Corps MP** : il est à double flux avec deux soutirages S5 et S4.

- A l'entrée du corps : Pression : 35,9 bar.
Température : 535°C.
- A la sortie du corps : Pression : 5,52 bar.
Température : 282°C.
- Le soutirage S5 alimente le réchauffeur haut pression (HP₅) avec une température de 423°C, et d'une pression de 16,5 bars.
- Le soutirage S4 alimente la bêche alimentaire avec une température de 282°C, et d'une pression de 5,5 bars.

• **Corps BP** : il est à double flux avec trois soutirages, l'entrée de ce corps est liée directement avec la du corps MP par une conduit.

- Le soutirage (S3) : alimente le 3^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 173°C, et d'une pression de 1,77 bar.
- Le soutirage (S2) : alimente le 2^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 89°C, et d'une pression de 0,65 bar.
- Le soutirage (S1) : alimente le 1^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 56°C, et d'une pression de 0,15 bar.

2.2 La chaudière : (générateur de vapeur) [3]

La chaudière utilisée est de type à circulation naturelle. Le rôle du générateur de vapeur est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état vapeur surchauffée à haute pression afin d'alimenter la turbine. C'est l'un des éléments essentiels de circuit thermique.

2.2.1 Description et principe

La chaudière livrée pour Cap-Djinet est de type « circulation naturelle ». L'eau d'alimentation est refoulée par les pompes d'eau d'alimentation directement jusqu'à l'économiseur. L'eau réchauffée est ensuite refoulée dans le ballon de la chaudière.

Le ballon constitue le réservoir effectif des écrans de la chaudière. Du ballon l'eau coule par les colonnes de descente jusqu'aux collecteurs des écrans. Les tubes écrans sont étanches au gaz et forment la chambre de combustion. Dans les tubes-écrans se forme un mélange de bulles de vapeur et d'eau, qui a un poids spécifique plus faible que l'eau froide.

Ce mélange monte jusqu'au ballon chaudière par gravité et différence de densité (circulation naturelle); Dans le ballon s'opère une séparation de l'eau et de la vapeur et celle-ci est conduite aux surchauffeurs.

Caractéristiques du générateur de vapeur

- Capacité de vaporisation : 540 t/h.
- Température de l'eau alimentation : 246°C.
- Pression de service : 160 bars.
- Débit vapeur : 523 t/h.
- Température de sortie de la fumée : 118°C.
- Température dans le foyer : 900°C.

- Les dimensions du générateur de vapeur :
 - hauteur : 17000 mm.
 - longueur : 9675 mm.
 - largeur : 9375 mm.

- puissance du générateur de vapeur :
 - débit de vapeur minimale : $Q_{\min} = 130$ → $P_t = 443$ MW.
 - débit de vapeur maximale : $Q_{\max} = 530$ t/h → $P_m = 176$ MW.
 - **débit de vapeur nominale : $Q_{\text{nom}} = 523,9$ t/h → $P_n = 176$ MW**

2.2.2 Fonctionnement de la chaudière

Pour simplifier la description du fonctionnement de la chaudière, nous allons d'abord repartir les circuits en deux sections principales :

- circuit d'eau.

- circuit de vapeur.

2.2.2.1 Circuit d'eau [3]

Le circuit d'eau est constitué d'un économiseur, d'un ballon, de colonnes de descente et d'écrans vaporisateurs.

a- Economiseur

L'économiseur a un rôle important au démarrage de la chaudière, il reçoit de l'eau froide sur une surface large de 2080 m² environ, de type tuyauterie en forme de serpentin qui se trouve à la fin de parcours des gaz de combustion qui permet de réchauffer l'eau destinée au ballon de la chaudière.

Caractéristiques de l'économiseur

- Température d'eau à l'entrée : 246,3°C.
- Température d'eau à la sortie : 284,7°C.
- pression de service (entrée): 164,3 bars.
- débit de fumée traversant l'économiseur : 550 – 650 t/h.
- débit d'eau d'alimentation : 523 t/h.
- volume d'eau : 10,5 m³.

b- Ballon

L'eau d'alimentation réchauffée dans l'économiseur arrive au ballon chaudière où elle sera conduite aux écrans vaporisateurs par les colonnes de descente, le volume du ballon chaudière est de 26,9 m³.

Après l'échauffement un mélange eau-vapeur monte vers le ballon, Dans le ballon, il se produit une séparation entre la vapeur et l'eau par des séparateurs cyclones.

Caractéristiques du ballon chaudière

- pression de service : 160 bars.
- température : 347,5°C
- volume d'eau : 26,9 m³

c- Colonne de descente et écrans vaporisateurs

Les colonnes de descente sont raccordées à la partie inférieure du ballon et conduisent l'eau à la partie inférieure de l'écran vaporisateur.

Caractéristiques des colonnes de descente et tubes écrans

- Surface de chauffe : 1980 m²
- Timbre : 172 bars.
- Pression de service : 160 bars.
- Volume d'eau : 37 m³.
- Nombre de colonnes de descente : 4

2.2.2 Circuit de vapeur

a- surchauffeur

Il existe trois surchauffeurs montés en lignes séparées parallèles, on trouve deux désurchauffeurs après le premier et la deuxième surchauffeur qui servent à la protection de ce dernier contre des températures plus élevées et de garder la même température de sortie dans la chaudière. La vapeur qui sort du ballon de la chaudière passe par les surchauffeurs pour augmenter le rendement l'installation. Débit de vapeur surchauffée : 523,9 t/h.

Caractéristiques	Surchauffeur 1 ^{ère}	Surchauffeur 2 ^{ème}	Surchauffeur 3 ^{ème} (finale)
Nombre de files	2*128	4*64	2*128
Diamètre extérieur [mm]	38	33,7	33,7
Epaisseur [mm]	3,6 - 4,5	4 – 5	4,5 – 5
Surface de chauffe [m ²]	1565	581	538
Pression de service [bar]	160	150	145,7
Timbre [bar]	172	172	172
Température d'entrée [°C]	360	394	471
Température de sortie [°C]	427	485	540

Tableau I-1 : Caractéristiques de la surchauffeur

b- Resurchauffeur

Après la première détente dans le corps HP (turbine à haute pression) la vapeur traverse les tubes du resurchauffeur où la température de celle-ci augmente une seconde fois, mais garderont la pression de détente constante. La vapeur sera envoyée dans la deuxième partie de la turbine (corps MP et BP). Débit de vapeur resurchauffée : 467,9 t/h.

Caractéristiques	Resurchauffeur 1 ^{ère}	Resurchauffeur 2 ^{ème}
Surface de chauffe [m ²]	1832	929
Volume d'eau [m ³]	18,96	10,11
Pression de sortie [bar]	39	37
Timbre [bar]	48	48
Température d'entrée [°C]	357	436
Température de sortie [°C]	428	540

Tableau I-2 : Caractéristiques du resurchauffeur

c- désurchauffeurs

Pour stabiliser la température de la vapeur surchauffée qui sort de la chaudière par l'injection des gouttelettes d'eau (pulvérisation), ils sont disposés entre les surchauffeurs et même entre les resurchauffeurs.

Caractéristiques	Désurchauffeur 1 ^{ère}	Désurchauffeur 2 ^{ème}
Debit d'eau [t/h]	35,7	4,6
Pression d'entre [bar]	165,4	60

Tableau I-3 : Caractéristiques du désurchauffeur

2.3 Le condenseur

2.3.1 Introduction

Le condenseur de la turbine fait partie du circuit de condensation qui avec le circuit d'eau de circulation et les circuits auxiliaires assure la condensation de la vapeur d'échappement de la turbine et sa détente à une contre pression basse.

Il existe deux types de condenseur :

- condenseur par surface.
- condenseur par mélange.
- Djinet est un condenseur de type **par surface**

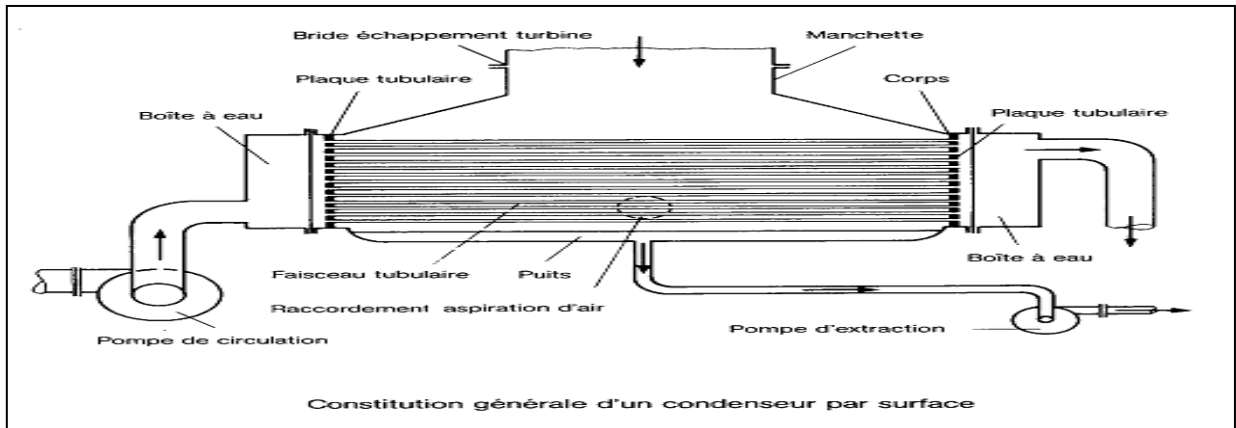


Figure I.4 : Constitution générale du condenseur

2.3.2 Fonction

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur à échange par surface. Il est placé sous la turbine à basse pression. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans lesquelles passe l'eau de mer de refroidissement.

Les principales fonctions de condenseur sont:

- D'assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuée du corps (BP) de la turbine et de réintroduire de condensât dans le circuit eau-vapeur (poste d'eau).
- D'augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression, afin d'obtenir un rendement de la turbine aussi élevé que possible.
- De dégazer le condensât et d'évacuer les incondensables (en majorité de l'air).
- Reçoit également le condensât des réchauffeurs (BP).
- Recevoir des différentes purges et de la vapeur de contournement (by-pass BP).

Caractéristiques du condenseur

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - Pression dans le condenseur : | 0,07 bar absolue. |
| - Capacité du puits entrée/sortie : | eau de mer 6° à 8°c. |
| - Surface d'échange : | 10101 m ² |
| - Masse de condenseur à vide : | 258,5 tonnes. |
| - Matériau de tube : | titans. |
| - Vitesse de l'eau dans les tubes : | 1,8 m/s. |
| - Débit vapeur : | 98,25 kg/s. |
| - Débit d'eau de refroidissement : | 6500 kg/s (eau de mer). |
| - Nombre de tubes : | 14850. |
| - Longueur des tubes : | 11490 mm. |

- La température de sortie : 32,9°C.
- La pression de sortie : 0,05 bars.

2.4 Les pompe

Il existe dans la centrale de CAP-DJINET : (02) pompes d'extraction et (03) pompes d'alimentation et des pompes de circulation.

2.4.1 Pompe d'extraction

Les pompes d'eau d'extraction a pour rôle d'acheminer le condensat principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été, les réfrigérants d'hydrogène.

Caractéristiques des pompes d'extraction

- Type de pompe : centrifuge à 3 étages.
- Température d'entrée : 32,9°C
- Pression de service (hauteur totale) : 16,8 bars.
- Pression (hauteur à débit nul) : 19,7 bars.
- Débit nominale : 414 m³/h.
- Température de sortie : 33°C.

2.4.2 Pompe d'alimentation

Les pompes alimentaires servent à alimenter le générateur de vapeur (chaudière) avec de l'eau nécessaire en passant par les réchauffeurs haut pression (HP) du poste d'eau (le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfère l'eau du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière) et l'économiseur du générateur de vapeur.

Les pompes alimentaires doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau de l'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Les conditions de fonctionnements des pompes alimentaires

- Aspirent de l'eau chaude.
- Refoulent l'eau à une pression élevée.
- Assurent un débit d'eau important.
- Doivent avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences d'eau manque d'eau dans le générateur de vapeur.

La centrale contient trois pompes avec un débit de 261,6 m³/h pour chacune de ces pompes. Ces pompes renvoient l'eau à une forte pression.

Caractéristiques des pompes d'alimentation

- Type : pompe centrifuge
- Température de l'eau : 151,4°C
- Débit nominale : 261,6 m³/h.
- Pression aspiration : 5,6 bars.
- Pression refoulement : 177 bars.

2.5 Réchauffeurs

2.5.1 Réchauffeurs à Basse Pression

Le rôle de ces trois réchauffeurs de BP est de réchauffer le condensât lors de son transfert dans la bêche alimentaire. Ils sont alimentés par les soutirages qui viennent du corps BP de la turbine. Le débit dans les réchauffeurs : 114,415 kg/s.

2.5.2 Réchauffeurs à Haute Pression

Le rôle de ces deux réchauffeurs est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par des soutirages provenant: l'un du corps MP et l'autre du corps HP.

2.6 Dégazeur

Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz des eaux. Il contient une chambre de mélange pour les condensats à dégazer, une plaque de dégazeur et un collecteur horizontal, zone de collecte et d'évacuation des incondensables.

2.7 Bêche alimentaire

La bêche alimentaire a un rôle de réchauffeur et conditionne la pression à l'aspiration de la pompe alimentaire.

C'est un réservoir cylindrique combiné avec un dégazeur. Il reçoit de l'eau à partir des pompes d'extraction, eau qui traverse un certain nombre de réchauffeurs.

II reçoit également de la vapeur à partir du soutirage (S4) qui vient du corps MP (moyen pression).

L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression du soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.



Figure I.5 : La Bâche alimentaire

Le dégazeur et la bâche alimentaire sont protégés par des soupapes de sécurité installées sur la tuyauterie.

Caractéristiques de la bâche alimentaire

- Le volume total : 163 m³
- Diamètre de l'enveloppe : 3,6 m.
- La longueur de la bâche : 16,5 m
- Température à la sortie de la bâche : 150-151°C.
- Pression : 4,9 - 5 bars.
- Le débit : 145,34 kg/s.
- Température d'entrée : 114°C.

2).8/ Les Réfrigérants

2).8.1/ Réfrigérants d'été (Réfrigérants d'eau d'extraction)

Les réfrigérants d'été servent à refroidir l'eau d'extraction dans le cas de température élevées dans le circuit (généralement en été d'où le nom de réfrigérants d'été).

Les deux réfrigérants d'été utilisent l'eau de mer comme source froide.

Débit eau de mer : (2 x 215 m³/h).

2.8.2 Réfrigérants d'hydrogène

Le réfrigérant d'hydrogène sert à refroidir l'hydrogène contenu dans l'alternateur.

Les quatre réfrigérants d'hydrogène (H₂) (4*25%) sont logés horizontalement à l'intérieur de l'enveloppe de l'alternateur. C'est des échangeurs par surface qui refroidissent l'H₂ chaud par la méthode des courants croisés. L'échange de chaleur entre l'H₂ et l'eau de refroidissement s'effectue par l'intermédiaire de tubes à ailettes parcourus par l'eau.

2.9 Alternateur

L'alternateur est une machine transformatrice, c'est pour cela qu'il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

Caractéristiques de l'alternateur

- La puissance maximale produite est de 176 MW.
- La tension : 15,5 KV.
- La fréquence : 50 Hz.
- L'intensité du courant : 8195 A.

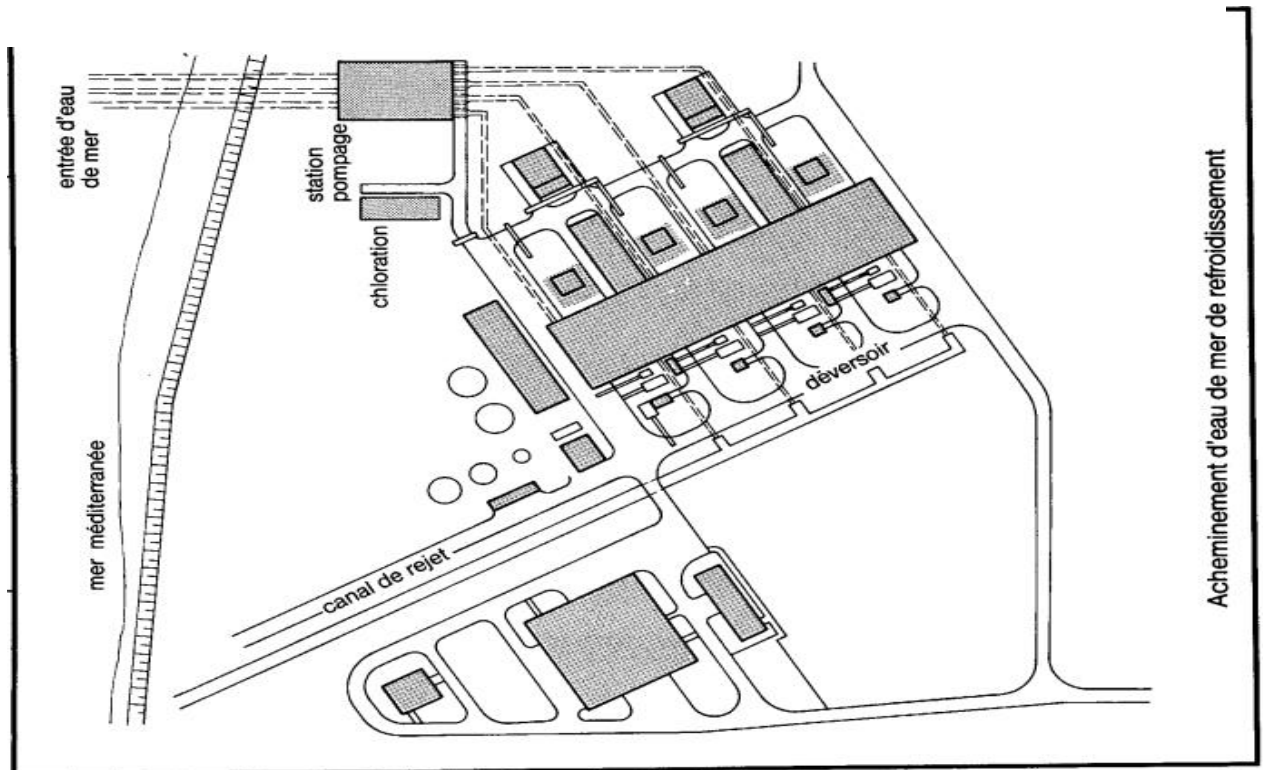
3. Les différents circuits auxiliaires de la centrale

3.1 Station de l'eau de mer

L'exploitation d'une Centrale Thermique de grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle, d'importantes quantités d'eau de refroidissement. Les besoins de la Centrale de Cap-Djinet s'élèvent à 30 m³/s. environ.

3.1.1 Station de pompage et de filtration d'eau de mer

La position de la station de pompage et de filtration d'eau de mer est basse sur une profondeur de 7 m environ de profondeur dans la mer méditerranée, la prise d'eau est située à 900 mètres de la côte, L'arrivée de l'eau à la station de pompage se fait par trois tubes en béton d'un diamètre de 2,70 m.



Figures I.6 : Plan de masse centrale thermique cap djinat

3.2 Système traitement des eaux

3.2.1 Station d'électro-chloration

La chloration de l'eau de mer permet de protéger le circuit d'eau de mer (condenseur, conduite d'amenée d'eau de mer..) contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium.

L'installation est prévue pour produire (2x150 Kg/h) de chlore avec deux unités. En condition de chloration continue, 104000 m³/h d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

3.2.2 Station de dessalement de l'eau de mer

La station de dessalement a pour rôle la production d'eau dessalée à partir de l'eau de mer.

Quatre unités de dessalement produisant 500 m³/jour chacune, assurent la production en eau dessalée, stockée dans deux bâches (2 x 2700 m³).

Type de l'installation : **Multi-flash** qui sert à vaporiser l'eau de mer pour lui enlever le sel puis la condensée pour obtenir de l'eau dessalée.

Trois produits chimiques sont injectés pour le traitement de l'eau qui est les suivants :

- **Le belgard EVN** : Inhibiteur d'incrustation utilisé pour éviter l'entartrage.
- **La belite (M33)**: Produit anti-mousse utilisé pour éviter la formation de la mousse au niveau des évaporateurs.
- **Le bissulfite de sodium (NA2SO3)**: Produit permettant l'élimination du chlore dans l'eau pour diminuer la conductivité.

3.2.3 Station de déminéralisation

L'installation de déminéralisation sert au traitement de l'eau d'appoint d'alimentation pour les 4 chaudières.

Deux chaînes de déminéralisation de 40 m³/h chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau vapeur.

Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux (02) réservoirs de 1500 m³ chacun.

3.3 Un poste de dépotage et transfert fuel

Deux (02) bâche de stockage de capacité : 2x10000 m³.

3.5 Evacuation de l'énergie

L'énergie électrique produite est évacuée par l'intermédiaire de lignes 225 KV sur le poste BOUDOUAOU et le poste de SI-MUSTAPHA.

3.6 Commande et contrôle

La centrale de Cap-Djinet se caractérise par un degré élevé d'automatisme et de centralisation, on de nombre une quarantaine de chaînes de régulation par groupe de production qui permet un pilotage automatique du groupe.

3.7 Système de surveillance, d'alarme et d'analyse

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau, vibrations..), des différents équipements du groupe, sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil.

Pour une meilleure analyse en cas d'incident un consigneur d'état est installé, il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

3.8 Salle de commande centralisée

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis la salle de commande. La salle de commande comprend pour chaque tranche :

- Deux (02) pupitres de conduits.
- Deux (02) tableaux verticaux ou sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- Un (01) tableau Synoptique schématisant les auxiliaires électriques.

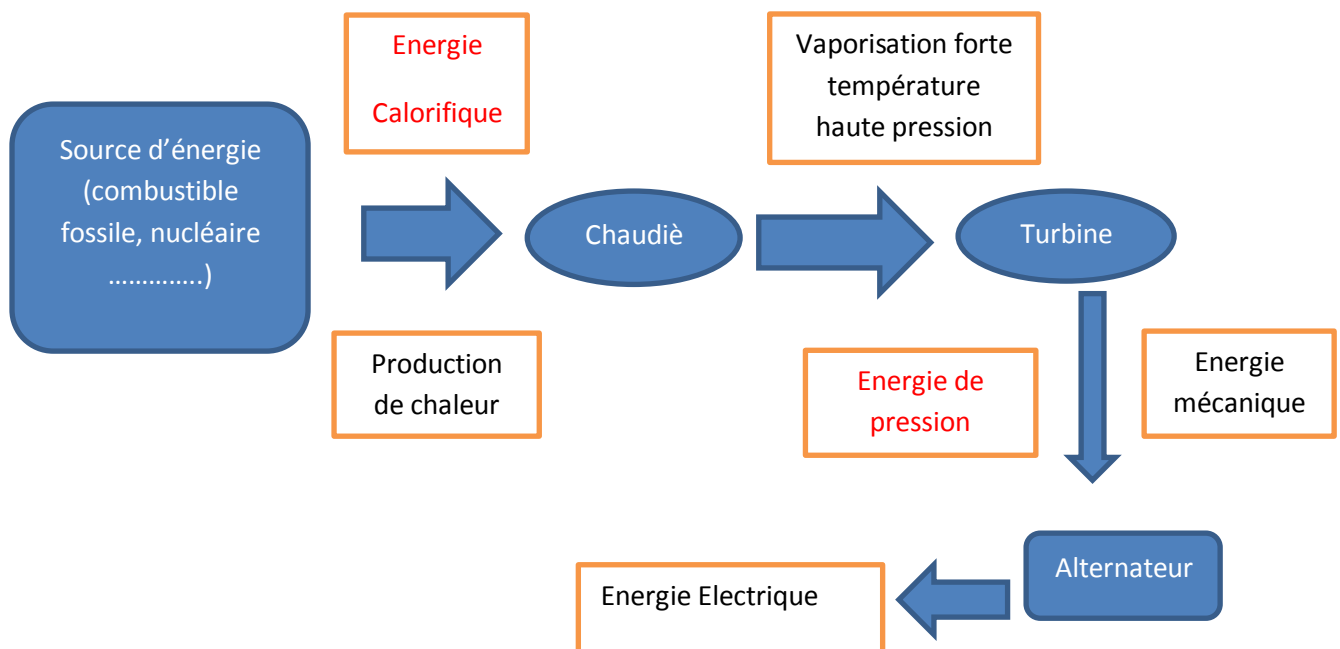


Figures I.7 : Salle de commande

4 - le principe de fonctionnement d'une centrale thermique

Le principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur dans une centrale thermique se compose de trois transformations :

- L'énergie calorifique produite au niveau de la chaudière par la combustion du gaz est absorbée par l'eau alors sa température et pression augmente ce qui justifie leurs vaporisation.
- La vapeur à haute pression est canalisée vers la turbine où elle se détend, l'énergie de pression qui transformée en énergie cinétique au niveau des canaux fixes puis convertie en énergie mécanique dans les canaux mobiles.
- L'arbre de la turbine qui tourne couple à un alternateur ce qui donne une transformation d'une énergie mécanique en énergie électrique.
-



Figures I.8 : Schéma de fonctionnement d'un cycle à vapeur

5. Fonctionnement d'une tranche de production

Avant d'écrire le fonctionnement de la centrale, il est sera bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique. En gros on a trois (3) transformations :

1. Transformation de l'énergie contenue à l'état latent dans le combustible (énergie chimique) en énergie calorifique.

Chaudière

- Energie chimique _____ Energie calorifique
2. Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.

Turbine

- Energie calorifique _____ Energie mécanique
3. Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Alternateur

- Energie mécanique _____ Energie électrique

L'eau froide est aspirée à la bêche alimentaire alimenter par le condenseur, et par l'eau d'appointé après distillation, elle est comprimée successivement par les pompes basse pression et haute pression et réchauffer par les réchauffeurs HP et BP.

Au moyen de vapeur des soutirages, l'eau d'alimentation en sortant des réchauffeurs HP va évacuer dans la chaudière est particulièrement dans l'économiseur, l'eau se réchauffe par convection par les biais des famées résultant de la chambre de combustion, elle est canalisée ensuite vers le ballon.

A la sortie de l'économiseur, l'eau est encore à l'état liquide, pour avoir de la vapeur il faut encore la chauffer. Alors, du ballon, elle descend vers les écrans vaporisateurs.

Au contact de la flamme des brûleurs l'eau devient vapeur et monte naturellement jusqu'au ballon du fait de la différence de densité de l'eau et de la vapeur.

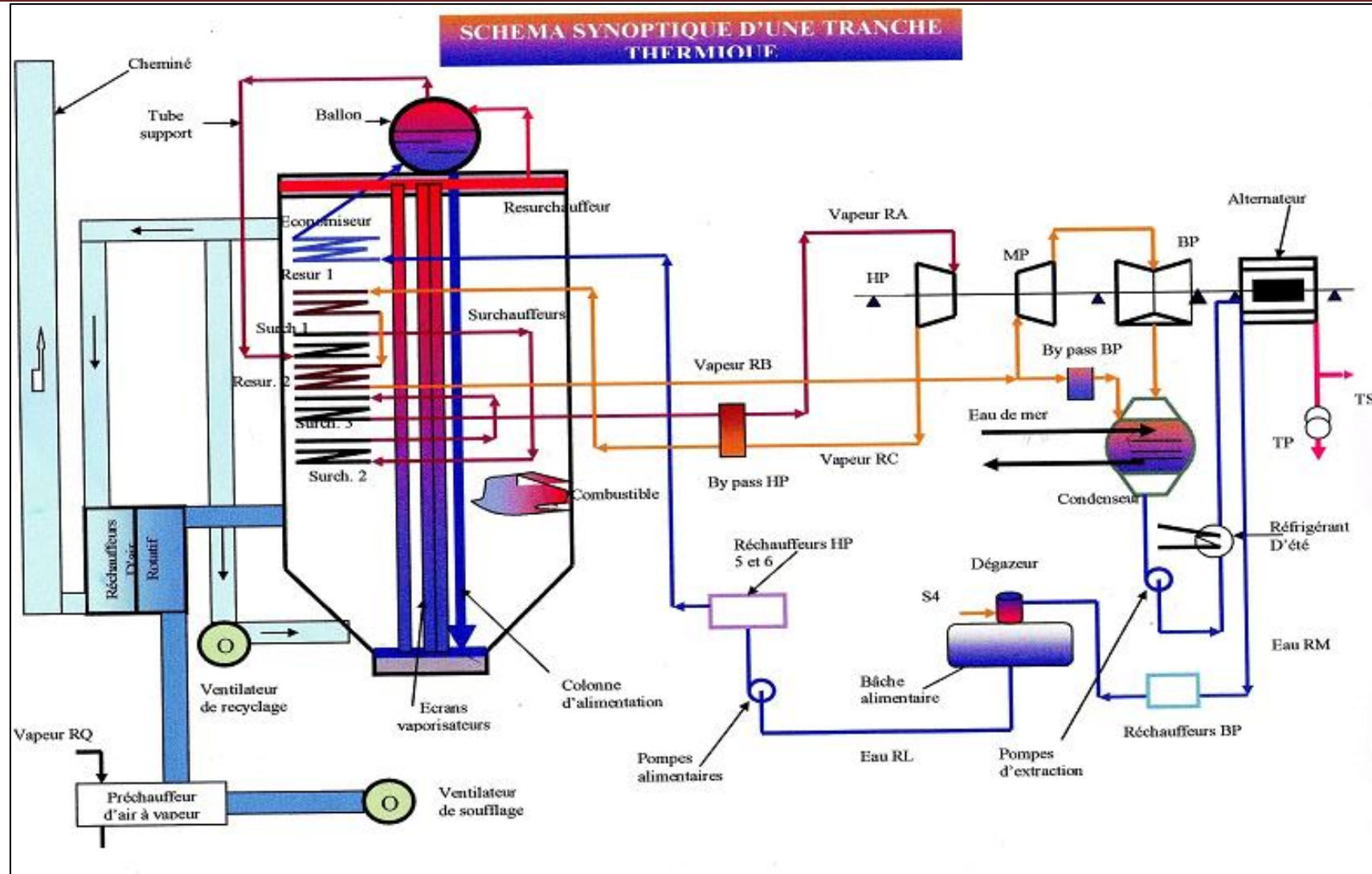
Dans le ballon s'opère une séparation de l'eau et de la vapeur, puis celle-ci est transmise à la surchauffeur par les tubes supports.

A la sortie de surchauffeur final, la vapeur est acheminé vers la turbine pour subir la détente, la vapeur d'échappement en partie détendue est refroidie dans la partie HP de la turbine, est ramenée à la chaudière pour une resurchauffe.

A la sortie des resurchauffeurs la vapeur poursuit sa détente dans le corps MP puis dans le corps BP, la vapeur détendue est conduite au condenseur. La condensation de la vapeur s'effectue sous vide à la température 33°C et à la pression de 0,05 bar.

Les pompes d'extraction aspirent l'eau du puits de condenseur et la refoulent à travers le réfrigérant d'alternateur, et les trois (3) réchauffeurs basse pression jusqu'à la bache alimentaire.

Dans la bache alimentaire s'effectue le dégazage physique de l'eau d'alimentation, et un nouveau cycle peut recommencer.



Figures I.9 : Principaux éléments d'une tranche de production

1. Principe de soutirage [4]

Le principe de soutirage de vapeur, consiste à soutirer à un étage intermédiaire de la turbine, une partie de débit total de vapeur qui déjà convertie en travail, une partie de son énergie interne est dirigée dans un réchauffeur d'eau condensée, le chaleur de cette vapeur au lieu d'être cédée en pure perte à l'eau de mer, est ainsi transmise à l'eau destinée à, l'alimentation de la chaudière.

Ce procédé permet donc :

- ✓ De réaliser des économies importantes de combustible, qui sont encore accrue par suite de l'influence favorable qu'il exerce sur le rendement
- ✓ De diminuer la masse de vapeur au condenseur, il en résulte une diminution de la « perte au condenseur ».
- ✓ La chaudière doit fournir plus de vapeur mais elle reçoit de l'eau réchauffée. Le débit de vapeur soutirée est égal à 30% du débit vapeur total.

2. Fonctionnement de circuit des soutirages

2.1 Turbine à vapeur

La turbine est une machine qui convertit l'énergie thermique de vapeur en énergie mécanique, plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous forme mécanique. Pour générer de l'énergie mécanique dans des applications industrielles, la turbine doit être puissante et avoir un meilleur rendement, la turbine à vapeur est la plus appropriée pour rencontrer ces exigences.

2.2 Turbine de la centrale de CAP-DJENNAT

Cette turbine est une machine à une seule ligne d'arbre de type à condensation et à simple resurchauffe, elle comporte six soutirages qui alimentent les réchauffeurs BP (basse pression), HP (haute pression) ainsi la bêche alimentaire, elle est composée de trois corps HP (haute pression), MP (moyenne pression) et BP (basse pression) qui sont séparés.

2.3 Les Réchauffeurs

Les réchauffeurs sont des échangeurs de chaleur ; elles ont pour rôle de réchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière, cette dernière assure par plusieurs soutirages dont chacun correspond à un réchauffeur, ce sont en générale échangeurs par surface, à l'exception de la bache alimentaire qui est un échangeur par mélange.

3. Description des réchauffeurs

3.1 Réchauffeurs par mélange

Dans ces réchauffeurs l'eau à réchauffer est directement en contact la vapeur, l'eau à réchauffer finement pulvérisée dans la vapeur venant du soutirage, la vapeur soutirée se condense au contact de gouttelettes d'eau qui s'échauffent progressivement, l'eau réchauffé et l'eau résulte de la condensation de la vapeur de mélange pour donner une eau dont la température est très voisine de cette de la vapeur saturée, pour la pression de la vapeur soutirée, On distinguer :

➤ Le réchauffeur BP4

Le condensat principal arrive dans la bache alimentaire ou il est réchauffé par la vapeur de soutirage S4 du corps MP et en même temps dégazé vers la pompe d'alimentation. L'eau à dégazer est pulvérisée dans l'espace à vapeur de la bache alimentaire par le pulvérisateur. La vapeur de chauffe est conduite par tubes plongeurs dans l'eau de la bache alimentaire, et sous le pulvérisateur la vapeur se contact avec les jets d'eau Il provient de soutirage S4.

➤ Le soutirage S4

Est prélevé à la fin de la partie moyenne pression de la turbine. En passant par la vanne motorisée SA12 S021 par le clapet anti-retour bSA12 S031 et la conduite RH 41 que la vapeur prélevée arrive à la vanne Rh 42S001 et en passant par le clapet anti-retour RH42 S002 et la conduite RH 42 qu'elle arrive au système de vaporisation de la bache alimentaire RH 40 B001. La conduite Rh 43 au claper anti-retour RH 43 S001 pour équilibrer la pression conduit de l'espace à vapeur de la bache alimentaire à la conduit de soutirage RH 42.

3.2 Réchauffeur par surface

Ces appareils sont constitués d'un corps l'intérieur du quel est disposé un faisceau tubulaire, l'eau à réchauffer circule à l'intérieur des tubes, la vapeur soutirée chauffe l'extérieur des tubes. La vapeur soutirée et l'eau à réchauffer peuvent être à des pressions très différentes ce qui permet de faire passer l'eau d'alimentation à travers plusieurs réchauffeurs par surface en série alimentés par des soutirages différents. Dans le cas de Cap-Djinet, on a deux types des réchauffeurs par surface (BP-HP).

3.3 Réchauffeur basse pression (BP)

Dans la centrale de CAP-DJINET, Il y'a trois réchauffeurs de basse pression qui ont pour rôle de chauffer les condensats lors de leur Transfert du condenseur vers la bache alimentaire, pour cela on utilise une partie de la chaleur de la vapeur soutirée de la partie basse pression de la turbine. Une conduite de contournement (by passe) est prévu pour le by passe des trois réchauffeurs. Les réchauffeurs utilisés sont exécutés selon le type de construction horizontale avec des tubes en U, l'écoulement des condensats se fait en cascade.

➤ Réchauffeur basse pression BP1

Le condensat principal rente par le bas dans la boîte à eau, à travers le faisceau tubulaire où il a lieu le réchauffage, après, il quitte le réchauffeur par la seconde moitié de la boîte à eau. La chaleur produite lors de la condensation est cédée au condensat principal (coté tube). A la fin du réchauffeur, l'enveloppe est agrandie à l'intérieur des chicanes qui servent à une introduction fonctionnelle des condensats, et c'est là qu'arrive le condensat auxiliaire venant du réchauffeur basse pression BP2. Ces derniers servent également au réchauffage du condensat principal. Tout le condensat auxiliaire s'accumule dans le pot de condensation et s'écoule jusqu'au réfrigérant des purges.

➤ Réchauffeur basse pression BP2

Le condensat principal pénètre par le bas de la boîte à l'eau et passe à travers le faisceau tubulaire où il a lieu le réchauffage, le condensat principal quitte le réchauffeur par la seconde moitié de la boîte à eau. La vapeur soutirée atteint l'espace vapeur du réchauffeur en passant par la conduite lors de la condensation va être cédée au condensat principal. Le condensat auxiliaire du réchauffeur basse pression BP3 pénètre axialement dans l'enveloppe du réchauffeur basse pression BP2 et est ainsi utilisé pour réchauffer le condensat principal. La

totalité du condensat auxiliaire s'accumule dans le pot de condensation et s'écoule jusqu'au réchauffeur BP1.

➤ **Réchauffeur basse pression BP3**

Le condensât principal pénètre dans la boîte à eau et passe à travers de faisceau tubulaire ou à lieu le réchauffage. Il quitte le réchauffeur par l'autre moitié de la boîte à eau. La vapeur soutirée atteint l'espace vapeur en passant par la conduite de soutirage et des faisceaux tubulaires d'entrée de vapeur. Dans cet espace la chaleur produite lors de la condensation et cédée à la condensation et s'écoule jusqu'au réchauffeur basse pression BP2. Ces réchauffeurs BP proviennent des soutirages S1, S2 et S3. Les soutirages basse pression va de la sortie de la turbine (corps MP et BP) jusqu'aux tubulures d'entrée de bêche alimentaire et des réchauffeurs basse pression. La vapeur de soutirage sert à augmenter la température de l'eau d'extraction dans les différents réchauffeurs.

✓ **Le soutirage S1**

Le soutirage S1 de corps basse pression de la turbine dont les paramètres sont 0.15 bar et 56°C arrive à travers deux conduites parallèles et RH12 jusqu'au réchauffeur RH10 W001, (BP1). Le condensat dans le réchauffeur BP1 est amené par la conduite de condensat RN10 au réfrigérant des condensats RH10 W1002.

✓ **Le soutirage S2**

Est également prélevé de la partie basse pression du la turbine. La vapeur arrive aux vannes mot. Parallèle SA13 S023 et S024 au clapet anti-retour ; et ensuite par la conduite RN21 au réchauffeur BP2. Le condensat cumule dans le réchauffeur BP2 est conduit par la conduit RN20 à travers RN20 S001 vers le réchauffeur BP1.

✓ **Le soutirage S3**

Est également prélevé de la partie basse pression du la vapeur turbine. La vapeur arrive à la vanne motorisée (SA 13 S025). Au clapet anti-retour ; et ensuite par la ligne RH 31 au réchauffeur BP3. Le condensat produit dans le réchauffeur BP3 est envoyé par la conduite RN30 à travers la vanne de réglage RN30 S001. Dans le réchauffeur BP2.

3.4 Réchauffeur Haute Pression

Dans la centrale de RAS-DJINET ; il y a deux réchauffeur haute pression HP5 et amont des pompes alimentaires.

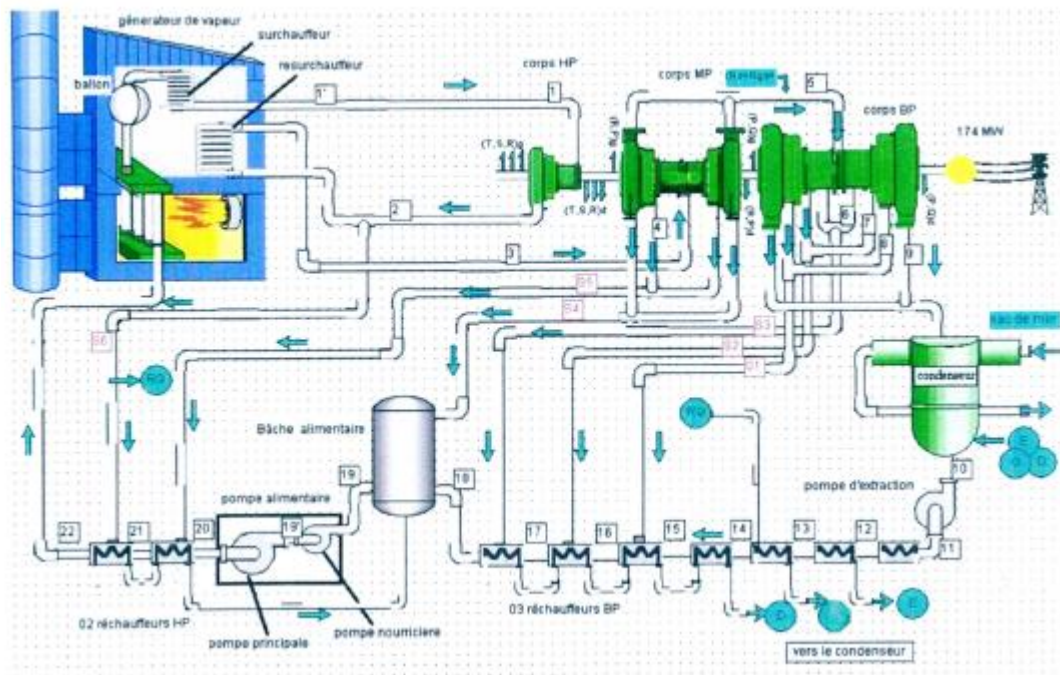
❖ Généralités

Le fluide froid est l'eau d'alimentation, qui vient du collecteur situé en amont des pompes d'eau d'alimentation. Celui-ci a la même pression qui se trouve dans le ballon de chaudière.

Le fluide chaud est la vapeur, qui peut venir des conduites suivantes :

- ✓ Conduite RF 57 du soutirage moyenne pression de la turbine.
- ✓ Conduite RF 61 du soutirage haute pression de la turbine et/ou de poste de détente contournement haute pression.

Les deux réchauffeurs hauts pression sont des échangeurs thermiques, se trouvant sous haute charge. Ils sont dotés d'une série de dispositifs de sécurité. Les conduites du fluide chaud (RF 57 et RF 61) sont munies de retenue, ce qui empêchera, en cas de rupture d'une conduite, que l'eau d'alimentation ne pénètre dans la turbine.



Figures II .1 : Schéma synoptique d'une tranche

3.4.1 Réchauffeur Haute Pression HP5

➤ **Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP5**

	Coté tube	Coté enveloppe
Fluide	Eau d'alimentation	Vapeur- condensat
Pression Max	176 bar	22.55 bar
Température Max	230°C	460°C
Capacité	2716	63631

Tableau II-1 : Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP5

➤ **Description de réchauffeur HP5**

L'eau d'alimentation arrive par la tubulure d'entrée et la boîte à eau dans le faisceau tubulaire. Elle quitte le réchauffeur par l'autre moitié de la boîte à eau et la tubulaire de sortie. Dans le faisceau tubulaire à lieu le réchauffeur de l'eau d'alimentaire et ce dans (3) trois zones. La vapeur de soutirage pénètre d'abord dans la zone désurchauffe, dans laquelle la vapeur cède à l'eau d'alimentation plus ou moins de chaleur de surchauffe. Là, la vapeur en se condensant cède la chaleur latente de vaporisation à l'eau d'alimentation. Ensuite le condensat secondaire du réchauffeur haut pression HP6 est introduit, par une Boite en tôle antirouille, dans l'enveloppe. La quantité de chaleur libérée lors de la détente est cédée aussi à l'eau d'alimentation. Le condensat en résultant s'accumule dans la partie la plus basse du réchauffeur et de là, il passe par le compartiment de la zone de refroidissement du condensat jusqu'aux tubulures de sortie.

3.4.2 Réchauffeur Haute Pression HP6

➤ **Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP6**

	Coté tube	Coté enveloppe
Pression	175 bar	49.03 bar
Température Max	280°C	400°C
Fluide	Eau chaude	Vapeur- eau chaude
Capacité	27911	63761

Tableau II-2 : Caractéristique De Conception De Réchauffeur HP6

➤ Description De Réchauffeur HP6

L'eau d'alimentation arrive par la tubulure d'entrée et la boîte à eau dans le faisceau tubulaire. Elle quitte le réchauffeur par l'autre moitié de la boîte à eau. Le réchauffage de l'eau d'alimentation a lieu dans le faisceau tubulaire et ce dans trois (03) zones. La vapeur de soutirage pénètre d'abord dans la zone de désurchauffe, dans laquelle la vapeur cède à l'eau d'alimentation plus ou moins de chaleur de surchauffe suivant le point de charge. Puis la vapeur entre dans l'espace vapeur de réchauffeur, la vapeur en se condensant cède la chaleur latente de vaporisation à l'eau d'alimentation. Le condensat produit s'accumule dans la partie la plus basse du réchauffeur et passe de la par le compartiment de la zone de refroidissement du condensat, celui-ci va encore être sur refroidi et la qualité de chaleur dégagée va être transmise à l'eau d'alimentation.

Les deux réchauffeurs proviennent des soutirages S5, S6.

✓ Soutirage S5

Est prélevé d'un étage de la partie MP de la turbine. En passant par les conduites RF 51 à RF 56, la vapeur arrive à la vanne motorisée SA 12 S023, clapet anti retour SA 12S033 ensuite la conduite RF 57 et au réchauffeur HP5 le système de vapeur auxiliaire est alimenté par la conduite RF 58.

✓ Soutirage S6

Nécessaire pour le réchauffage de l'eau d'alimentation dans le réchauffeur HP6 est acheminé de la sortie du corps HP de la turbine à travers la conduite RF 61, la vapeur traverse la conduite RF 62 est utilisée pour réchauffage de la bêche alimentaire sur la conduite RF61 est montée une vanne motorisée RF 61 S001.

Le circuit des condensats é la sortie des réchauffeurs HP est acheminée vers la bêche alimentaire.

4. Principes de la Thermodynamique

Les principes de la thermodynamique permettent de prévoir les caractéristiques macroscopiques d'un système, ainsi que ses états d'équilibre.

4.1 Premier principe de la thermodynamique pour un système ouvert

D'après le premier principe de la thermodynamique, la variation d'énergie ΔU d'un système est égale à la somme des quantités de chaleur Q et de travail W que se système a échangées avec le milieu extérieur. On peut donc écrire $\Delta U = Q + W$, ou encore

$$dU = dW + dQ.$$

$$Q + W = \Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P \quad (1)$$

On peut écrire aussi

$$Q + W = \Delta H + \Delta E_P \quad (2)$$

Δh : variation de l'enthalpie en (kJ/kg)

ΔE_C : variation de l'énergie cinétique en (kJ/kg)

ΔH : variation de l'enthalpie totale avec $\Delta H = \Delta h + \Delta E_C$

4.2 Premier principe de la thermodynamique pour un cycle

Un cycle c'est une succession de transformation, avec état initial égale à l'état final.

Lors d'une transformation cyclique, la chaleur reçue par un système est égale à la somme des travaux fournis par le système $Q + W = 0$.

4.3 Application du premier principe de la thermodynamique pour une installation thermique

- Dans la turbine et les pompes on considère que les transformations sont Adiabatiques : $Q = 0$.
- La variation de l'énergie potentielle est négligeable : $\Delta E_P = 0$.
- Sachant qu'il n'y pas de production de travail dans la chaudière on a : $W = 0$.

Avec ces hypothèses l'expression du premier principe devient :

- Pour la chaudière : $Q = \Delta H$. (3)

- Pour la turbine et les pompes : $W = \Delta H$ (4)

Pour calculer le travail par unité de masse de la vapeur sortant de la chaudière et en tenant compte des débits de fuites, de soutirage et des débits récupéré, l'équation (4) sera exprimée par :

$$W = \Sigma (H_{i+1} - H_i)$$

5. Définition de l'énergie thermique de centrale à vapeur

L'énergie thermique obtenue dans une centrale à vapeur. Par la combustion d'un combustible solide, liquide ou gazeux dans une chaudière est transmise à un fluide (usuellement de l'eau) transformée ensuite en énergie mécanique dans une turbine à vapeur, puis en énergie électrique dans un alternateur. Cette transformation nécessite une différence de pression et une chute d'enthalpie entre le générateur de vapeur (source chaude) et le condenseur ou le milieu ambiant (source froide).

5.1 Cycles des centrales thermiques à vapeur

Pour décrire le cycle complet suivi par la vapeur, il faut considérer l'ensemble fermé comprenant une pompe d'alimentation, un générateur de vapeur, une turbine à vapeur, un condenseur et des conduits reliant ces éléments

5.2 Cycle de Rankine

Le cycle de Rankine est à la base des machines utilisant la vapeur d'eau dans les centrales thermiques et nucléaires. Il correspond aux opérations successives suivantes :

- Mise sous pression de l'eau en phase liquide, par l'intermédiaire de la pompe d'alimentation (1-2)
- Chauffage et vaporisation de l'eau liquide dans la chaudière sous la pression maximale (2-3)
- Détente de la vapeur vive dans une turbine, avec la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique (3-4)

Condensation isobare de toute la vapeur d'eau détendue dans un condenseur refroidi par l'eau (fleuve, lac ou mer) ou par l'air (4-1)

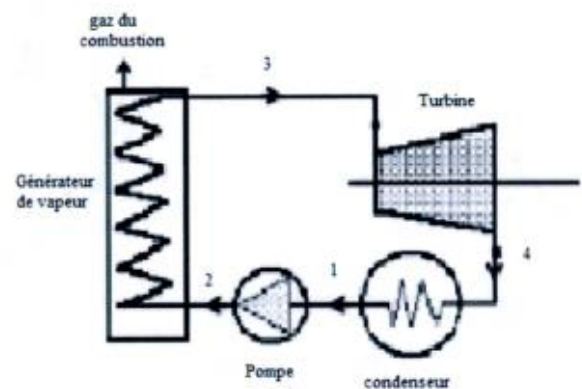
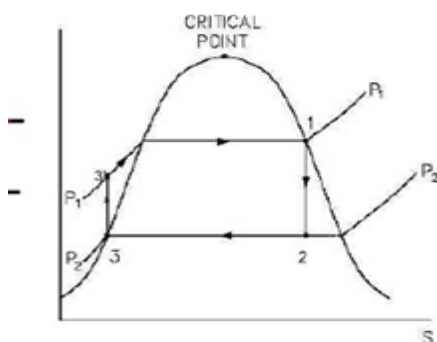


Figure II.2 : Cycle de Rankine

5.3 Cycle avec resurchauffe

Le resurchauffe consiste à détendre partiellement la vapeur d'eau dans une turbine haute pression HP, puis à la renvoyer dans le générateur de vapeur pour la surchauffer à nouveau sous pression constante (resurchauffe) et la réintroduire ensuite dans une turbine basse pression BP pour une nouvelle détente.

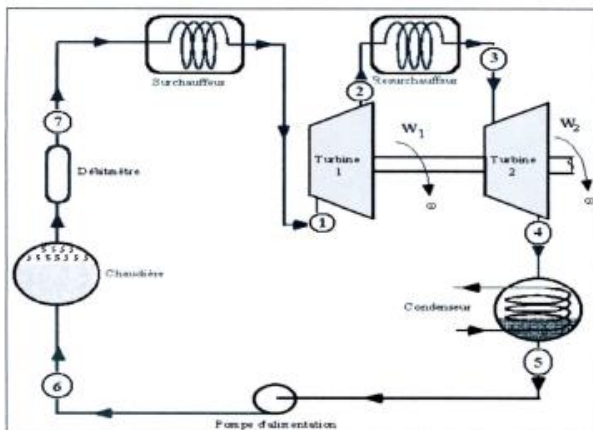


Figure II.3 : Cycle avec resurchauffe.

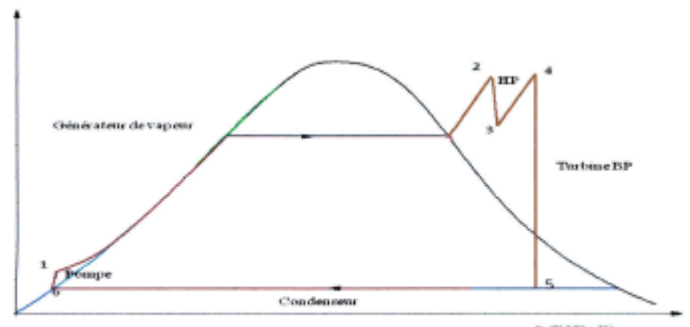


Figure II.4 : Diagramme entropique du cycle avec resurchauffe

L'avantage de la resurchauffe dépend essentiellement de trois paramètres :

- Point de départ de la resurchauffe, si ce point est trop haut, le cycle complémentaire est très faible ; s'il est trop bas, le rendement est moindre. La position optimale est légèrement inférieure au quart de pression d'admission, c'est-à-dire que, pour une pression de vapeur vive de 160 à 170 bars, la pression de la vapeur surchauffée est d'environ 35 à 40 bars.
- Température de surchauffe (en principe, la même que celle de la vapeur vive)
- Puissance du groupe et température de la vapeur vive

5.4 Cycles avec resurchauffe et soutirages

Le soutirage consiste à prélever de la vapeur d'eau en cours de détente dans la turbine pour Réchauffer l'eau d'alimentation, dans un réchauffeur a surface, avant son entrée dans le générateur de vapeur. Souvent le réchauffeur a surface est remplacé par un réchauffeur a mélange appelé bache d'alimentation. Cet élément fonctionne non seulement comme réchauffeur mais aussi comme tampon permettant d'encaisser les régimes transitoires (démarrages, variations de charge, arrêts).

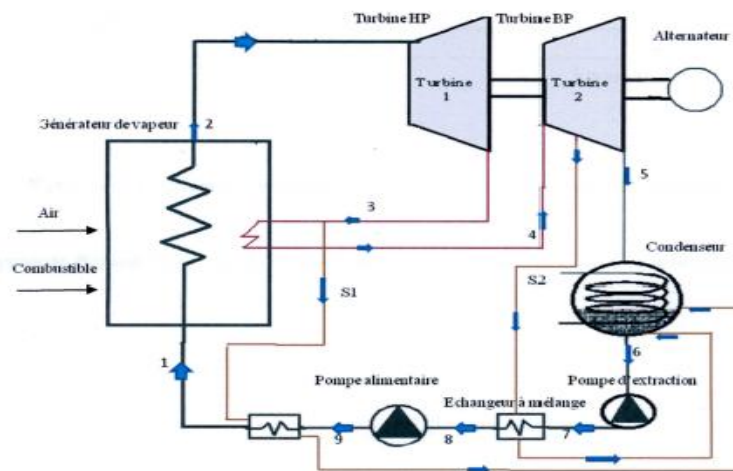


Figure II.5 : Cycle avec resurchauffe et soutirages

1. Introduction

Pour la machine thermique le rendement est une caractéristique essentielle des moteurs, puisqu' il quantifie la faculté d'une machine à assurer une transformation énergétique. Un bon rendement est donc synonyme de faible consommation de carburant.

2. Définition du rendement du cycle

Le rendement global d'une centrale thermique est le rapport de l'énergie mécanique " w " sur l'énergie calorifique de la chaudière Q :

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{W}{Q}$$

Tel que : $W = W_t - W_p$

W_t : travail de la turbine.

W_p : travail des pompes .

Q : quantité de chaleur fournie par la chaudière.

De plus :

$$W_p = W_{pe} + W_{pn} + W_{pp}$$

W_{pe} = travail de la pompe d'extraction.

W_{pn} : travail de la pompe nourricière

W_{pp} : travail de la pompe principale

Donc :

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{w_t - (w_{pp} + w_{pn} + w_{pe})}{Q}$$

Tenant compte des différentes pertes qui se traduisent par a dégradation de rendement du la turbine

Des pompes et la chaudière, le rendement du cycle s'écrit :

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{wt \cdot \eta_t - (w_{pp}/\eta_{pp} + w_{pn}/\eta_{pn} + w_{pe}/\eta_{pe})}{Q/\eta_{ch}}$$

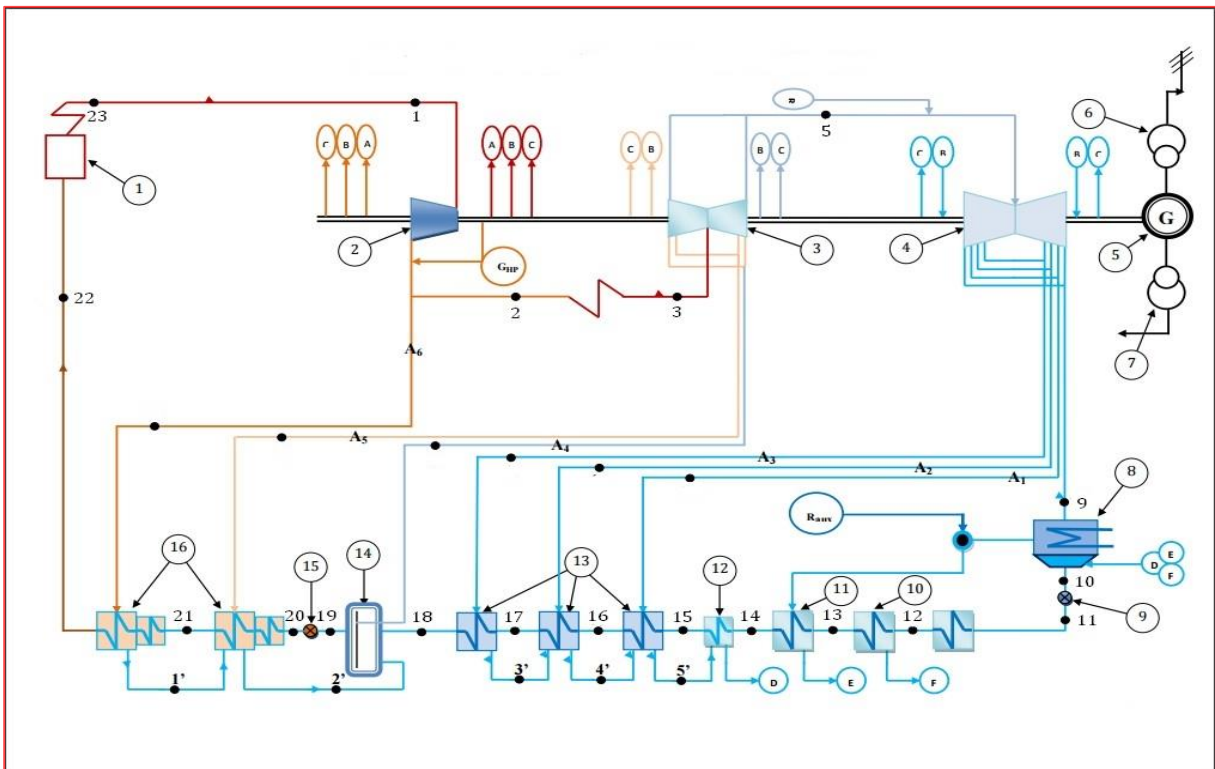
les rendements : [1]

η_t : rendement de la turbine.

η_{pe} : rendement de la pompes d'extraction

η_{pp} : rendement de la pompes principale.

η_{ch} : rendement de la chaudière.



FigureIII.1 : Schéma de circuit eau-vapeur centrale thermique RAC DJENAT

3. Les différentes stations du circuit thermique

1'-1 : la vapeur a subi des pertes de charges dans les conduites

1 - 2 : la vapeur se détend dans la turbine corps haut pression HP

2 - 3 : resurchauffe et une parte de vapeur saturée (soutirage s6)

3 – 5 : la vapeur se détente dans le corps MP avec deux soutirage s5 et s4

5 – 9 : la vapeur entre dans le corps BP avec trois soutirages s1 s2 s3

9 – 10 : la vapeur est condensée dans le condenseur

10 – 11 : L'eau est pompée par une pompe d'extraction

11 – 12 : L'eau d'extraction passe par le réfrigérant d'alimentaire pour refroidir l'hydrogène

12 – 14 : L'eau d'extraction refroidit les buées de vapeur et la vapeur des éjecteurs de service

14 – 15 : refroidissement des condensats auxiliaire de corps BP rassemblé dans le refroidisseur de purge

15 – 18 : réchauffement de l'eau d'extraction dans les réchauffeurs BP1 BP2 BP3

18 – 19 : la bêche alimentaire reçoit de l'eau d'extraction traverse certains réchauffeurs et la vapeur soutire s4

19 – 20 : alimentation de la chaudière par les pompes alimentaires

20 – 22 : réchauffement de l'eau d'alimentation dans les réchauffeurs HP5 HP6

22 – 1' : passage de l'eau à l'état liquide à l'état vapeur dans la chaudière

Soutirage S6 : la vapeur soutire en traversant le réchauffeur HP6 subit trois transformations

(Désurchauffe condensation refroidissement)

Soutirage S5 : la vapeur soutire en traversant le réchauffeur HP5 qui subit les mêmes transformations que S6

Soutirage S4 : la vapeur soutire en traversant la bêche alimentaire elle sera désurchauffée et condensée

Soutirage S3 : la vapeur soutire en traversant le réchauffeur BP3 elle sera désurchauffée et condensée

Soutirage S2 : la vapeur soutire en traversant le réchauffeur BP2 elle sera désurchauffée et condensée

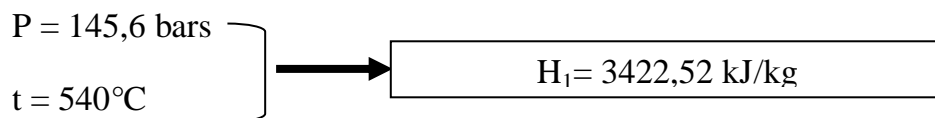
Soutirage S1 : la vapeur soutire en traversant le réchauffeur BP3 elle sera désurchauffée et condensée

4. Calcul du rendement du cycle à pleine charge

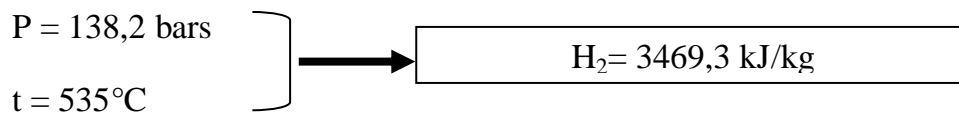
Pour calculer le rendement du cycle il faut connaître les enthalpies du fluide moteur aux divers points caractéristiques du cycle déterminées à partir de la table thermodynamique et le diagramme (T, S) Les mesures des paramètres de la vapeur (P, t, H) aux différents points de la station

5. Détermination des enthalpies en chaque point de cycle [14]

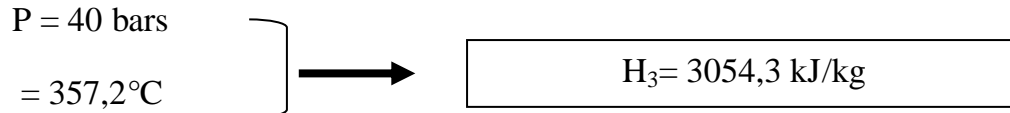
► **Point 01** : (sortie chaudière).



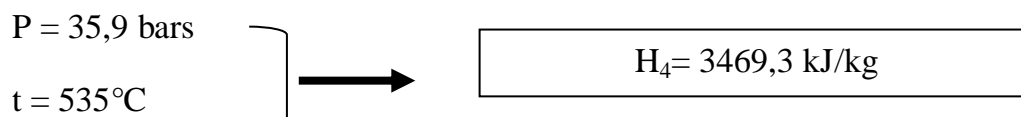
► **Point 02** : (entrée du corps HP).



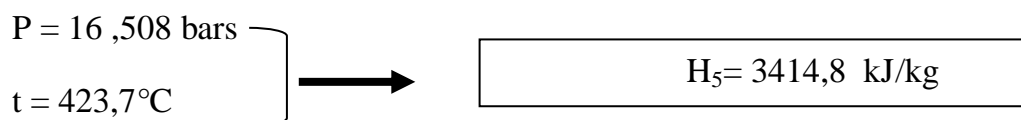
► **Point 03** : (sortie du corps HP).



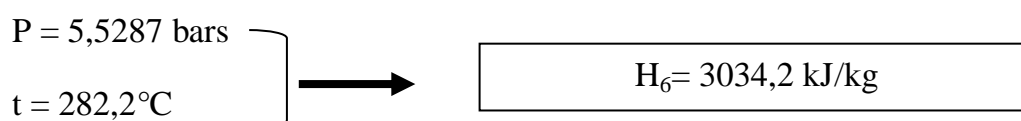
► **Point 04** : (entrée du corps MP).



► **Point 05** : (soutirage A5).



► **Point 06** : (soutirage A4).



► **Point 07** : (soutirage A3).

$$\left. \begin{array}{l} P = 1,8615 \text{ bars} \\ t = 173,2^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_7 = 2923,8 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 08** : (soutirage A2).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,6695 \text{ bars} \\ x = 0,9974 \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_8 = 2650 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 09** : (soutirage A1).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,1665 \text{ bars} \\ x = 0,9416 \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{9,1} = 2471 \text{ kJ/kg (vapeur saturée)}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,1665 \text{ bars} \\ x = 56,2^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{9,2} = 233,1 \text{ kJ/kg (liquidature)}}$$

► **Point 10** : (sortie du corps BP).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,05 \text{ bars} \\ x = 0,9188 \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{10} = 2369,0 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 11** : (l'aspiration de la pompe d'extraction).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,05 \text{ bars} \\ \text{Liquide Saturée} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{11} = 137,3 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 12** : (refoulement de la pompe d'extraction).

$$\left. \begin{array}{l} P = 16,8 \text{ bars} \\ t = 33^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{12} = 139,1 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 13:** (entrée de condenseur des buées).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,8620 \text{ bars} \\ t = 37,6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{13} = 158,2 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 14:** (entrée de l'éjecteur de vapeur).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,8620 \text{ bars} \\ t = 38,2^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{14} = 160,8 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 15:** (entrée de refroidisseur des purges).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,8620 \text{ bars} \\ t = 38,8^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{15} = 163,3 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 16:** (entrée de réchauffeurs BP1).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,3716 \text{ bars} \\ t = 40,3^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{16} = 169,6 \text{ kJ/kg}}$$

► **Point 17:** (entrée de réchauffeurs BP2).

$$\left. \begin{array}{l} P = 7,8813 \text{ bars} \\ t = 51,1^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{17} = 218,7 \text{ kJ/kg}}$$

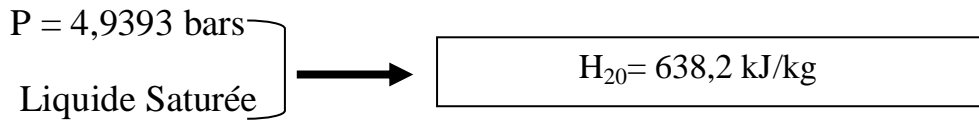
► **Point 18:** (entrée de réchauffeurs BP3).

$$\left. \begin{array}{l} P = 7,3910 \text{ bars} \\ t = 84,5^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{18} = 354,2 \text{ kJ/kg}}$$

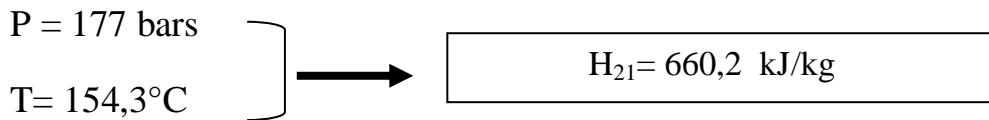
► **Point 19:** (entrée de la bêche alimentaire).

$$\left. \begin{array}{l} P = 6,9006 \text{ bars} \\ t = 113,4^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{H_{19} = 475,8 \text{ kJ/kg}}$$

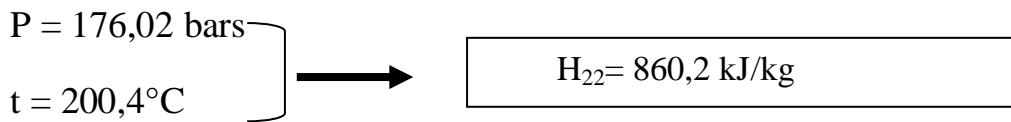
► **Point 20:** (aspiration de la pompe alimentaire).



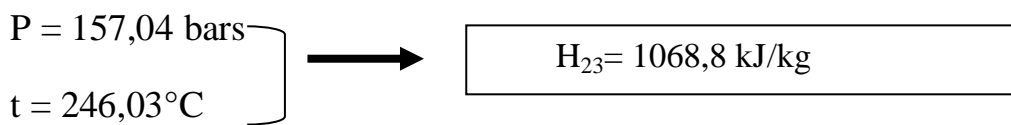
► **Point 21:** (refoulement de la pompe alimentaire).



► **Point 22:** (entrée de réchauffeurs HP6).



► **Point 23:** (entrée de chaudière).



► **Point A:** (sortie de refroidisseur de purge).



► **Point B:** (sortie de l'éjecteur de vapeur).



► **Point C:** (sortie du condenseur de buées).



6. Calcul du travail fourni par la turbine

$$W_T = W_{HP} + W_{MP} + W_{BP}$$

W_{HP} : travail de corps HP

W_{MP} : travail de corps MP

W_{BP} : travail de corps BP

• Corps HP

Calcul du travail des corps HP avec des fractions et les débits des fuites (de la turbine ainsi que le débit des fuites récupérées)

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré en régime permanent donne :

7. Calcul de cycle eau- vapeur avec des réchauffeurs à haute pression et basse pression

$$W_{THP} = (H_2 - H_3) (1 - A_{HP} - B_{DHP} - C_{DHP} - D_{DHP})$$

A_{HP} : fraction évacuée par l'espace **A** pour le resurchauffeur.

B_{DHP} : fraction évacuée par l'espace **B** à droite du palier **HP**.

C_{DHP} : fraction évacuée par l'espace **C** à droite du palier **HP**.

D_{DHP} : fraction évacuée par l'espace **D** à droite du palier **HP**.

$$A_{HP} = 4,47/145,34 = 30,755.10^{-3}$$

$$B_{DHP} = 0,66/145,34 = 4,541.10^{-3}$$

$$C_{DHP} = 0,66/145,34 = 1,053.10^{-3}$$

$$D_{DHP} = 0,66/145,34 = 0,034.10^{-3}$$

$$W_{THP} = (3469,3 - 3054,3) (1 - 30,755.10^{-3} - 4,541.10^{-3} - 1,053.10^{-3} - 0,034.10^{-3})$$

$W_{THP} = 315,90 \text{ KJ/Kg}$
--

• Corps MP :

Calcul du travail des corps MP avec les différents débits des soutirages est donné

S4 et s5 : débits des soutirages.

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré en régime permanent donne :

$$W_{\text{TMP}} = (H_4 - H_5) [1 - (B_{\text{DHP}} + B_{\text{GHP}} + C_{\text{DHP}} + C_{\text{GHP}} + D_{\text{DHP}} + D_{\text{GHP}} + A_6)] + (H_5 - H_6) [1 - (B_{\text{DHP}} + B_{\text{GHP}} + C_{\text{DHP}} + C_{\text{GHP}} + D_{\text{DHP}} + D_{\text{GHP}} + A_6 + A_5)]$$

Expression de Fraction:

$$B_{\text{GHP}} = 0,672 / 145,34 = 4,623 \cdot 10^{-3}$$

$$C_{\text{GHP}} = 0,201 / 145,34 = 1,382 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{\text{GHP}} = 0,006 / 145,34 = 0,0418 \cdot 10^{-3}$$

$$A_6 = 13,674 / 145,34 = 94,082 \cdot 10^{-3}$$

$$A_6 = 10,012 / 145,34 = 68,886 \cdot 10^{-3}$$

$$W_{\text{TMP}} = (3469,3 - 3214,8) [1 - \{(4,541 + 4,623 + 1,053 + 1,382 + 0,034 + 0,0418 + 94,082) \cdot 10^{-3}\}] + (3214,8 - 3034,2) [1 - \{(4,541 + 4,623 + 1,053 + 1,382 + 0,034 + 0,0418 + 94,082 + 68,886) \cdot 10^{-3}\}].$$

$$W_{\text{TMP}} = 454,66 \text{ KJ/Kg}$$

- **Corps BP**

Calcul du travail des corps BP avec les déferents débits des soutirages est donnée

S3, s2 et s1: débits des soutirages.

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considérée en régime permanent donne :

$$W_{\text{TBP}} = (H_6 - H_7) [1 - (C_{\text{DHP}} - D_{\text{DHP}} - C_{\text{GHP}} - D_{\text{GHP}} - A_6 - A_5 - A_4 - B_{\text{DMP}} - C_{\text{DMP}} - B_{\text{GMP}} - C_{\text{GMP}})] + (H_7 - H_8) [1 - (C_{\text{DHP}} - D_{\text{DHP}} - C_{\text{GHP}} - D_{\text{GHP}} - A_6 - A_5 - A_4 - B_{\text{DMP}} - B_{\text{GHP}} - C_{\text{DMP}} - A_3)] + (H_8 - H_9) [1 - (C_{\text{DHP}} - D_{\text{DHP}} - C_{\text{GHP}} - D_{\text{GHP}} - A_6 - A_5 - A_4 - B_{\text{DMP}} - B_{\text{GMP}} - C_{\text{GMP}} - A_3 - A_2)] + (H_9 - H_{10}) [1 - (C_{\text{DMP}} - D_{\text{DHP}} - C_{\text{GHP}} - D_{\text{GHP}} - A_6 - A_5 - A_4 - B_{\text{DMP}} - B_{\text{GMP}} - C_{\text{DMP}} - C_{\text{GMP}} - A_3 - A_2 - A_1)].$$

Expression des fractions :

$$B_{\text{DMP}} = 0,55 / 145,34 = 3,797 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{\text{DMP}} = 0,032 / 145,34 = 2,869 \cdot 10^{-3}$$

$$C_{\text{DMP}} = 0,032 / 145,34 = 0,22 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{GMP}=0.024/145.34=0.165*10^{-3}$$

$$A_4=7.987/145.34=50.473*10^{-3}$$

$$A_3=7.987/145.34=41.193*10^{-3}$$

$$A_2=2.405 /145.34=16.54*10^{-3}$$

$$\begin{aligned} W_{TBP} &= (3034.7-2923.8)[1- \\ & (1.053+0.034)+1.0382+0.041+94.082+68.886+50.474+3.797+0.22+2.869+0.16 \\ & 5).10^3]+(2816.8-2650.6)[1- \\ & (1.053+0.034+1.382+0.041+94.082+68.886+50.474+3.797+2.869+0.22+0.165+ \\ & 41.193).10^{-3}]+(2650.6-2436.5) \quad [1- \\ & (1.0153+0.034+1.382+0.041+94.082+68.886+50.47+3.797+2.869+0.22+41.193 \\ & +44.44).10^{-3}]+(2463.5-2363)[1- \\ & (1.053+0.034+2.869+0.22+0.165+41.193+44.474+16.54)10^{-3}] \end{aligned}$$

$$W_{TBP} = 487.10 \text{ kJ/kg}$$

7.1 Calcul du Travail total de la turbine :

L'expression de travail totale de la turbine à partir de la vapeur sortante de la chaudière (vapeur soutirée) :

$$W_T = W_{THP} + W_{TMP} + W_{TBP} = 315,09+454+487,10$$

$$W_T = 1256,19 \text{ kJ/kg}$$

7.2 Calcul de la puissance indique :

L'expression de la puissance indique à partir du travail total de la turbine et le débit de vapeur vivre

$$P_1 = W_T \cdot G = 1256.16 * 145.34$$

$$P_1 = 182.27 \text{ MW}$$

7.3 Puissance disponible sur l'arbre de la turbine

$$P_e = p_1 \cdot \eta_{mec}$$

$$P_e = 178.63 \text{ MW}$$

$$\eta_{mec} = 0.98 \quad \eta_{mec} : \text{rendement mécanique de la turbine (donné par le constructeur)}$$

Puissance disponible aux bornes de l'alternateur

$$p = p_e \cdot \eta_{alt} = 178.63 \cdot 0.99$$

$$p = 176.83 \text{ MW}$$

7.4 Travail de la pompe d'extraction

L'application du premier principe de la thermodynamique considérée en régime permanent donne :

$$W_{PEX} = (H_{12} - h_{11}) (1 - A_6 - A_5 - A_4 - RQ)$$

RQ = fraction de débit aimantant le circuit RQ (vapeur auxiliaires)

AN :

$$W_{PEX} = (139,1 - 137,3) (1 - 94,082 \cdot 10^{-3} - 68,886 \cdot 10^{-3} - 50,474 - 0,667 \cdot 10^{-3})$$

$$W_{PEX} = 10417 \text{ KJ/Kg}$$

7.5 Travail de la Pompe alimentaire

L'application du premier principe de la thermodynamique considérée en régime permanent donne :

$$W_{PB} = (H'_{20} - H_{20}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 2$$

Où : $\frac{1}{2}$ fraction de débit traversant une pompe.

2 : nombre de pompe

Pour H'_{20} :

$t'_{20} = t_{20} = 151,4 \text{ c}^\circ$ (la température de l'aspiration de la pompe alimentaire)

$P'_{20} = 9.73 \text{ bars}$ (donné par constructeur) \longrightarrow d'après les tables.

$$H'_{20} = 638,8 \text{ KJ/Kg}$$

AN :

$$W_{PB} = (638,8 - 638,2)$$

$$W_{PB} = 0,6 \text{ KJ/kg}$$

7.6 Travail de la Pompe principale

L'application du premier principe de la thermodynamique considéré en régime permanent donne :

$$W_{PP} = (H_{21} - H'_{20}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = (660,6 - 638,8)$$

$$W_{pp} = 21,8 \text{ KJ /Kg}$$

7.7 Calcul de la quantité de chaleur cédée à la vapeur dans la chaudière Q

Quantité de chaleur fournie par la chaudière exprimée par unité de masse de la vapeur vive produite a pour expression :

$$Q = (H_1 - H_{23}) + (H_4 - H_3) (1 - B_{DHP} - C_{DHP} - B_{GHP} - C_{GHP} - D_{GHP} - A_6)$$

AN :

$$Q = (3422,52 - 1068,8) + (3526,9 - 3107) [1 + (4,517 + 1,053 + 0,034 + 4,623 + 1,382 + 0,041 + 94,082) \cdot 10^{-3}]$$

$$Q = 2990,408 \text{ KJ /Kg.}$$

on a :

$$\eta_{MEC} = 0,98$$

$$\eta_{PEX} = 0,770$$

$$\eta_{PB} = 0,775$$

$$\eta_{PP} = 0,780$$

$$\eta_{CH} = 0,85$$

→ donnée par le constructeur

Le rendement du cycle à vapeur avec six soutirages de centrale thermique se calcul ainsi :

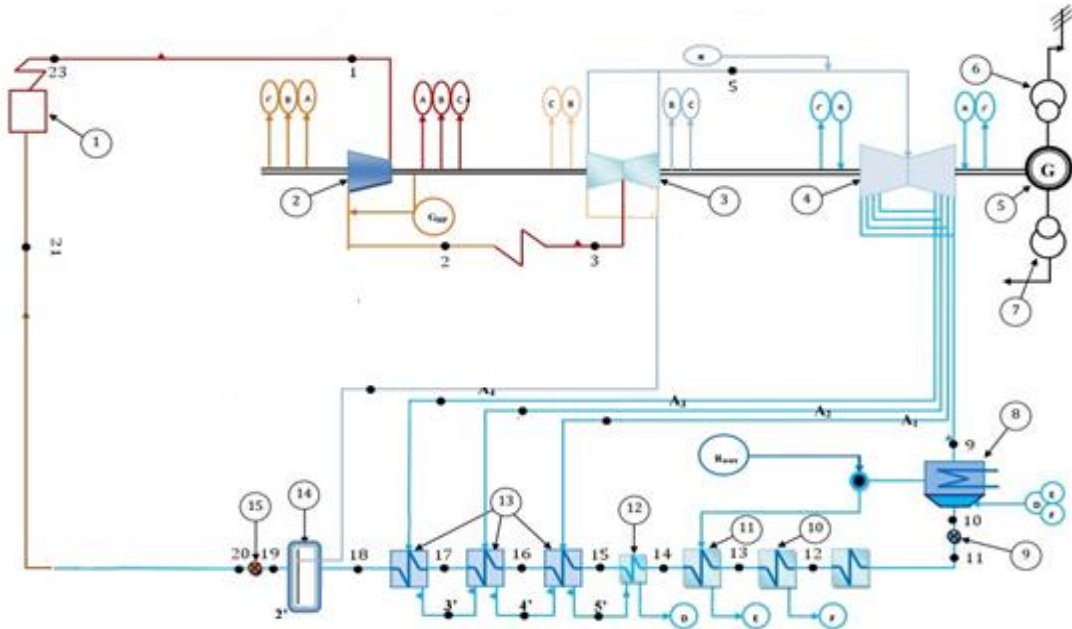
$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{wt \cdot \eta_t - (w_{pp} / \eta_{pp} + w_{pB} / \eta_{pB} + w_{pex} / \eta_{pex})}{Q / \eta_{ch}}$$

$$\eta = \frac{[1256,169 \cdot 0,98 + [(\frac{1,417}{0,770}) + (\frac{21,8}{0,780}) + (\frac{0,6}{0,775})]}{2990,408 / 0,858}$$

$$\eta = 36,17\%$$

8. Calcul de cycle eau- vapeur avec des réchauffeurs basse pression (avec suppression des réchauffeurs haute pression 5 et 6) [14]

Dans cette partie on calcule le rendement du cycle Sans soutirage S5, S6



FigureIII.2 : schéma de circuit eau vapeur centrale thermique RAC DJENAT sans soutirage s5 et s6

➤ **Point 1' :** (sortie de chaudière).

$$T=535^{\circ}\text{C}$$

P=pression de ballon- Δp (surchauffeur)

$$=160-11,84(\text{valeur donnée par le constructeur})=148,16 \text{ bars}$$

D'après les tables

$$H'_1=3422,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 01 :** (sortie chaudière).

$$P = 142,6 \text{ bars}$$

$$t = 535^{\circ}\text{C}$$

$$H_1=3414,7 \text{ kJ/kg}$$

► **point 02:**

$$P=32,933 \text{ bars et } s_2=s_1=6,5021 \text{ KJ/kg.k}$$

$$\eta_t = \frac{H_1 - H_2}{H_1 - H_{2TH}} \implies H_2 = H_1 - \eta_t (H_1 - H_{2TH})$$

$$H_2 = 3414,7 - 0,8738 \times (3414,7 - 2994,9) = 3047,879 \text{ kJ/kg}$$

H₂ = 3047,879 kJ/kg

► **Point 03** : (entrée du corps MP).

$$\left. \begin{array}{l} P = 28,906 \text{ bars} \\ t = 535^\circ\text{C} \end{array} \right\} \implies H_3 = 3536,6 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 04** : (sortie de corps MP).

$$\left. \begin{array}{l} P = 4,4349 \text{ bars} \\ t = 283,5^\circ\text{C} \end{array} \right\} \implies H_4 = 3029,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 05** : (soutirage A3).

$$\left. \begin{array}{l} P = 1,4907 \text{ bars} \\ t = 201,5^\circ\text{C} \end{array} \right\} \implies H_5 = 2875,1 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 06** : (soutirage A2).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,5368 \text{ bars} \\ t = 106,9^\circ\text{C} \end{array} \right\} \implies H_6 = 2695,7 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 07** : (soutirage A1).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,1332 \text{ bars} \\ x = 0,9621 \end{array} \right\} \implies H_7 = 2504,2 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 08** : (échappement du corps BP).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,0393 \text{ bars} \\ x = 0,9374 \end{array} \right\} \longrightarrow H_8 = 2400,9 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 06'** : (Entrée de la bêche alimentaire)

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,05 \text{ bars} \\ T_6 = 282,7 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_6' = 3029,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 07'** : (entrée du réchauffeur BP₃).

$$\left. \begin{array}{l} P = 1,3882 \text{ bars} \\ t = 201,3 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_7' = 2875,1 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 07''** : (sortie de réchauffeur BP₃).

$$\left. \begin{array}{l} P = 1,3282 \text{ bars} \\ \text{Liquide sature} \end{array} \right\} \longrightarrow H_7'' = 457,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 08'** : (entrée de réchauffeur BP₂).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,4981 \text{ bars} \\ t = 106,6 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_8' = 2695,7 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 08''** : (sortie du réchauffeur BP₂).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,4981 \text{ bars} \\ \text{Liquide sature} \end{array} \right\} \longrightarrow H_8'' = 340,1 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 09'** : (entrée du réchauffeur BP₁).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,1242 \text{ bars} \\ t = 0,6896 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_9' = 1852,6 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 09''**: (sortie du réchauffeur BP₁).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,1242 \text{ bars} \\ \text{Liquide sature} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{9''} = 209,8 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 11**: (aspiration de la pompe d'extraction).

$$\left. \begin{array}{l} P = 0,0393 \text{ bars} \\ \text{Liquide sature} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{11} = 120,0 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 12**: (refoulement de la pompe d'extraction).

$$\left. \begin{array}{l} P = 16,916 \text{ bars} \\ t = 28,6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{12} = 121,7 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 13**: (entrée du condenseur).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,978 \text{ bars} \\ T = 33,0^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{13} = 138,9 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 14**: (sortie de condenseur).

$$\left. \begin{array}{l} P = 16,91 \text{ bars} \\ T = 33,5^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{14} = 141,3 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 15**: (sortie de l'éjecteur).

$$\left. \begin{array}{l} P = 16,91 \text{ bars} \\ t = 34^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{15} = 143,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 16**: (sortie du refroidisseur).

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,424 \text{ bars} \\ t = 35,5^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{16} = 149,6 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 17:** (sortie du réchauffeur).

$$\left. \begin{array}{l} p = 7,87 \text{ bars} \\ t = 47,6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{17} = 199,9 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 18:** (sortie du réchauffeur BP₂).

$$\left. \begin{array}{l} t = 83,1^\circ\text{C} \\ P = 7,316 \end{array} \right\} \longrightarrow H_{18} = 348,4 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 19:** (sortie du réchauffeur MP₃).

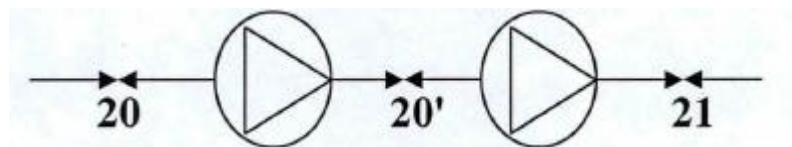
$$\left. \begin{array}{l} P = 6,762 \text{ bars} \\ t = 112,7^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{19} = 440,1 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 20:** (aspiration de pompe alimentaire).

$$\left. \begin{array}{l} P = 3,762 \text{ bars} \\ t = 142,7^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{20} = 601,6 \text{ kJ/kg}$$

► **Point 21:** (sortie du réchauffeur MP₃).

$$\left. \begin{array}{l} P = 174,62 \text{ bars} \\ t = 146,1^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow H_{21} = 625,9 \text{ kJ/kg}$$



8.1 Calcul du travail fourni par la turbine W_T :

$$W_T = W_{THP} + W_{TMP} + W_{TBP}$$

a. Travail fourni par le corps THP :

$$W_{THP} = (H_1 - H_2) (1 - Q_{HP} - R_{DHP} - S_{DHP} - T_{DHP})$$

A.N :

$$Q_{HP} = 4,47/129,78 = 34,422 \cdot 10^{-3}$$

$$S_{DHP} = 0,153/129,78 = 1,179 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{DHP} = 0,66/129,78 = 5,085 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{DHP} = 0,005/129,78 = 0,038 \cdot 10^{-3}$$

$$W_{THP} = (3414,7 - 3047,8) (1 - 0,038 \cdot 10^{-3} - 5,085 \cdot 10^{-3} - 1,179 \cdot 10^{-3} - 34,422 \cdot 10^{-3})$$

$$W_{THP} = 351,655 \text{ KJ/Kg}$$

b. Travail du corps MP : W_{TMP}

$$W_{TMP} = (H_3 - H_4) [1 - (R_{DHP} + R_{GHP} + T_{DHP} + S_{GHP} + S_{DHP} + D_{GHP} + RQ)]$$

A.N:

$$R_{GHP} = 0,672 / 129,7 = 5,178 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{GHP} = 0,006 / 129,7 = 0,046 \cdot 10^{-3}$$

$$S_{GHP} = 0,201 / 129,7 = 1,549 \cdot 10^{-3}$$

$$RQ = 0,097 / 129,7 = 0,747 \cdot 10^{-3}$$

$$W_{TMP} = (3536,3 - 3029,4) [1 - \{(5,178 + 0,046 + 1,549 + 0,747 + 0,0418 + 94,082) \cdot 10^{-3}\}]$$

$$W_{TMP} = 500,189 \text{ KJ/Kg}$$

c. Travail du corps BP : W_{TBP}

$$W_{TBP} = (H_6 - H_7) [1 - (S_{DHP} - T_{DHP} - S_{GHP} - T_{GHP} - RQ - A_4 - P_{DMP} - R_{DMP} - P_{GMP} - R_{GMP})] +$$

$$(H_5 - H_6) [1 - (S_{DHP} - T_{DHP} - S_{GHP} - T_{GHP} - RQ - A_4 - P_{DMP} - P_{GHP} - R_{DMP} - A_3) +$$

$$(H_6 - H_7) [1 - (S_{DHP} - T_{DHP} - S_{GHP} - T_{GHP} - RQ - P_{DMP} - A_4 - R_{DMP} - P_{GMP} - R_{GMP} - A_3 - A_2)] +$$

$$(H_7 - H_8) [1 - (S_{DMP} - T_{DHP} - S_{GHP} - T_{GHP} - RQ - A_4 - P_{DMP} - P_{GMP} - R_{DMP} - R_{GMP} - A_3 - A_2 - A_1)]$$

A.N

$$R_{DMP}=0.55/129,78=4,797*10^{-3}$$

$$P_{DMP}=0.032/129,78=0,246*10^{-3}$$

$$R_{GMP}=0,02/129,78=0.18*10^{-3}$$

$$P_{GMP}=0,4/129,78=3,312*10^{-3}$$

$$A_4=8,16/129,78=62,9*10^{-3}$$

$$A_3=7.987/129,78=41.193*10^{-3}$$

$$A_2=2.66 /129,78=20.54*10^{-3}$$

$$\begin{aligned} W_{TBP} &= (3029.4-2875.1) [1-(1.17 \\ &+0.034+0.0382+1.54+0.045+0.747+4.253+3.213+0.246+0.18+62.904).10^{-3}] \\ &+ (2875.1-2695.5)[1- \\ &(1.179+0.038+1.54+0.046+0.747+4.25+3.213+0.246+0.185+62.9+49.783).10^{-3}] + (2695.7- \\ &2504.2) [1-(1.179+0.038+1.549+0.045+0.747+4.24+3.213+0.246+0.185+62.904+49.783+ \\ &53.9).10^{-3}] + (2504,2- \\ &2400.9)[1-(1.179+0.038+1.549+0.046+0.747+4.253+3.213+0.246+0.185+62.904+49.78+ \\ &53.920+20.45)10^{-3}] \end{aligned}$$

$$W_{TBP} = 540.149 \text{ kJ/kg}$$

d. travail total de la turbine

$$W_T = W_{THP} + W_{TMP} + W_{TBP} = 351.66 + 500.189 + 540.149$$

$$W_T = 1391.993 \text{ kJ/kg}$$

e. Calcul de la puissance indique

$$P_1 = W_T \cdot Q = 1391.99 * 129.78$$

$$P_1 = 180.7 \text{ MW}$$

8.2 Puissance disponible sur l'arbre de la turbine

$$P_e = p_1 \cdot \eta_{mec}$$

$$P_e = 177.045 \text{ MW}$$

$$\eta_{mec} = 0.98$$

Puissance disponible aux bornes de l'alternateur

$$p = p_e \cdot \eta_{alt} = 177.05 \cdot 0.99$$

$$p = 175.23 \text{ MW}$$

8.3 Rendement de cycle

$$\eta_{cycle} = \frac{W_t \cdot \eta_{MEC} - [(W_{PEX} / \eta_{PEX}) + (W_{PN} / \eta_{PN}) + (W_{PP} / \eta_{PP})]}{Q / \eta_{CH}}$$

8.4 Calcul du travail des pompes W_p :

a. Pompe d'alimentation : W_{PEX}

$$W_{PEX} = (H_{12} - h_{11}) (1 - A_4) = (121.7 - 120) (1 - 62.904 \cdot 10^{-3})$$

$$W_{PEX} = 1.593 \text{ kJ/kg}$$

b. pompe alimentaire W_{PB}

$$W_{PB} = (H'_{20} - H_{20}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 2$$

Où : $\frac{1}{2}$ fraction de débit traversant une pompe.

2 : nombre de pompe

Pour H'_{20} :

$$t'_{20} = 142.8 \text{ c}^\circ$$

$P'_{20} = 9.13 \text{ bars}$ (donné par constructeur) \longrightarrow d'après les tables.

$$H'_{20} = 602.2 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_{PB} = (602,2 - 601,6)$$

$$W_{PB} = 0,6 \text{ KJ/kg}$$

$$W_{PP} = (H_{21} - H'_{20}) \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = (625.9 - 602.2)$$

$$W_{pp} = 23.8 \text{ KJ/Kg}$$

8.4 Calcul de la quantité de chaleur "Q" cédée à la vapeur dans la chaudière

$$Q = (H_1' - H_{21}) + (H_3 - H_2) (1 - R_{DHP} - T_{DHP} - R_{GHP} - S_{GHP} - T_{GHP})$$

$$Q = (3422,52 - 625.9) + (3523,9 - 3047.879) [1 - (5.085 + 0.038 + 5.18 + 1.549 + 0.046) \cdot 10^{-3}]$$

$$Q = 3279,408 \text{ KJ /Kg.}$$

8.5 Calcul de rendement

on a :

$$\eta_{MEC} = 0,98$$

$$\eta_{PEX} = 0,78$$

$$\eta_{PN} = 0,74$$

$$\eta_{pp} = 0.75$$

$$\eta_{CH} = 0,858$$

} → donnée par le constructeur

A.N:

$$\eta = \frac{[1391.993 \cdot 0.98 - [(\frac{1.593}{0.78}) + (\frac{23.7}{0.75}) + (\frac{0.6}{0.74})]}{3279.408 / 0.858}$$

$$\eta = 34,8\%$$

6. Conclusion

D'après cette étude, le rendement du cycle avec six soutirages est de 36,17% par contre le rendement sans soutirages S5, S6 est de 34,8% il y a une différence de 1,37% c'est une valeur très remarquable, donc en conclut que le soutirage joue un rôle important dans l'élévation du rendement de la central.

1. Introduction

L'installation de la centrale de Cap-Djenet fonctionne suivant le cycle de Hirn à resurchauffe avec six soutirages pour le réchauffement d'eau d'alimentation.

2. But de chapitre

Dans ce chapitre on propose une étude simulatrice sur la centrale à vapeur avec six soutirages pour étudier le cycle thermodynamique

3. L'éditeur de schémas (voir la annexe)

Permet de décrire qualitativement le système étudié. Il comporte une palette présentant les différents composants représentables (échanges de chaleur, compresseurs, organes de détente, chambres de combustion, mélangeurs, diviseurs...), et un panneau de travail où ces composants sont placés et interconnectés par des liens vectoriels.

4. Le simulateur

Permet de quantifier puis de résoudre le modèle décrit qualitativement dans l'éditeur de schémas. Son écran principal donne accès aux écrans de paramétrage des propriétés (logiques et thermodynamiques) des différents éléments (les types primitifs de Thermoptim : corps, point, transformation, nœud, échangeur) mis en jeu dans les modèles générés.

Le simulateur permet d'effectuer des analyses de sensibilité relativement simples, en faisant varier certains débits, pressions ou températures.

5. Les diagrammes thermodynamiques interactifs [13]

Ils sont destinés à remplacer les diagrammes thermodynamique classiques sous forme d'abaques sur papier, dont la lecture est toujours délicate, avec des risques d'erreur par interpolation non négligeables. Ils permettent, par simple clic souris, d'afficher l'état thermodynamique complet d'un fluide, et de faciliter ainsi l'obtention des valeurs désirées. Ils peuvent aussi être utilisés pour visualiser les cycles thermodynamiques calculés par le simulateur.

Les diagrammes suivants sont aujourd'hui disponibles :

- Diagrammes de vapeurs : ils présentent les zones liquides, équilibre liquide-vapeur et vapeur d'une quinzaine de corps purs, dont l'eau.

Pour les vapeurs, les diagrammes suivants sont disponibles (en fonction du corps) :

- Le diagramme (H, P) dit des frigoristes, généralement en échelle semi-logarithmique, avec l'enthalpie en abscisse et la pression en ordonnée.
- Le diagramme entropique (T, S), avec l'entropie en abscisse et la température en ordonnée.
- Le diagramme de Clapeyron (P, V), pour l'eau uniquement, avec le volume et la pression en ordonnée.
- Le diagramme de Mollier (H, S), avec l'entropie en abscisse et l'enthalpie en ordonnée.

Diagrammes des gaz idéaux : ils permettant de faire varier la nature du gaz (pur ou composé).

Pour les gaz idéaux, les diagrammes suivants sont disponibles :

- Le diagramme entropique (T, S), avec l'entropie en abscisse et la température en ordonnée (ouvert par défaut lors du lancement de l'application).
- Le diagramme de Clapeyron (P, V), avec le volume et la pression en ordonnée.

Dans Thermoptim, les couplages entre ces environnements sont réalisés par des interfaces particulières, l'intégration la plus poussée étant réalisée entre le simulateur et l'éditeur de schémas d'une part, et entre le simulateur et Le diagramme thermodynamique interactif d'autre part.

Thermoptim permet de calculer automatiquement l'état complet (température, pression, volume massique, enthalpie, énergie interne, entropie, exergie, titre) de différents fluides, qui peuvent être considérés comme des gaz idéaux ou des vapeurs condensables. Ces fluides peuvent subir diverses transformations.

6. Création du schéma dans Thermoptim

Quand on lance THERMOPTIM, deux écrans s'ouvrent au démarrage : l'éditeur de schémas, et le simulateur (Thermoptim.java, avec un menu de fichier de projets et de résultats).

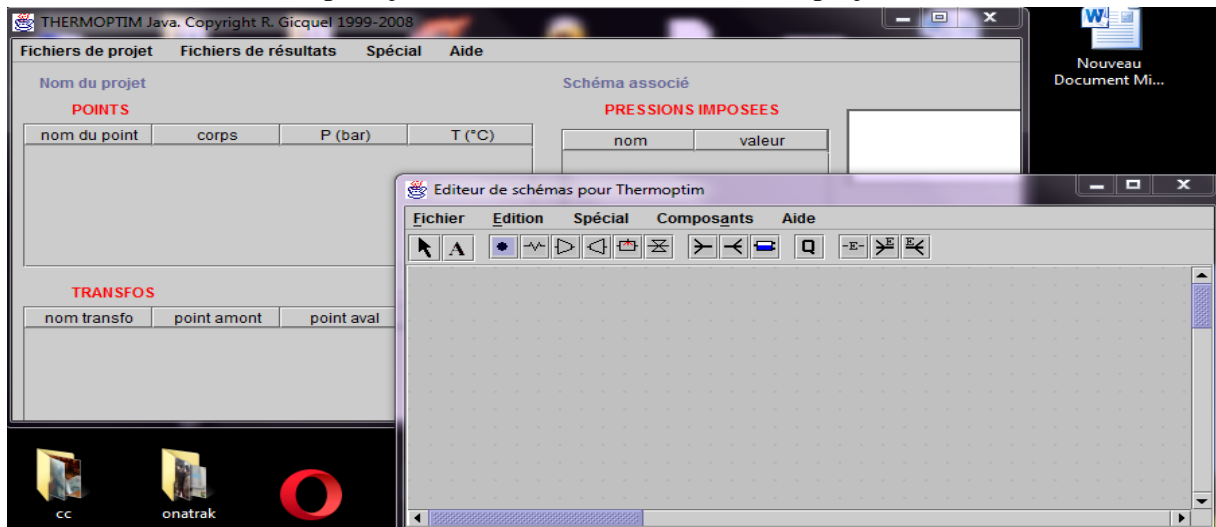


Figure IV.1 : Les deux fenêtres de démarrage

6.1 Création du schéma

Dans la fenêtre de l'éditeur de schémas on représente les différents éléments de cycle vapeur de la centrale. Le condenseur, qui du type échange, les pompes (d'extraction, d'alimentation) qui est un type de compresseur, la chaudière, représenté par quatre transformations de type échange de chaleur (l'économiseur, le vaporiseur, la surchauffeur et le resurchauffeur), les différentes phases d'échauffement de l'eau ; la turbine, qui est un organe de détente (représenté par les corps HP, MP, BP) et pour introduire les prélèvements, il faut introduire des diviseurs, et des mélangeurs, comme illustré dans la (figure IV-1) ET (Figure IV-2)

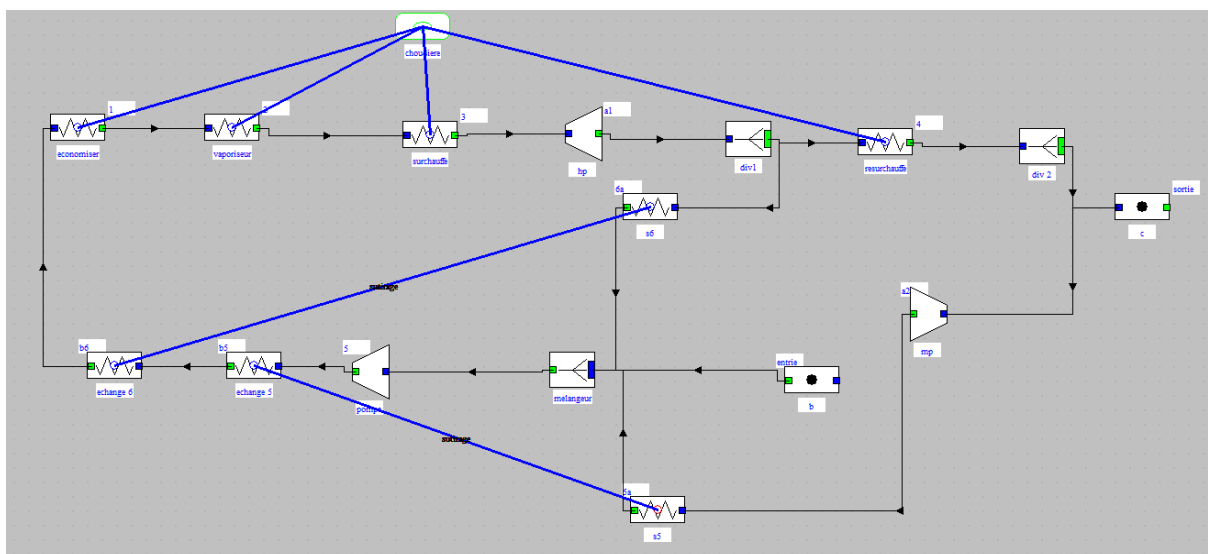


Figure IV.2 : Création du schéma du cycle vapeur (s6,s5)

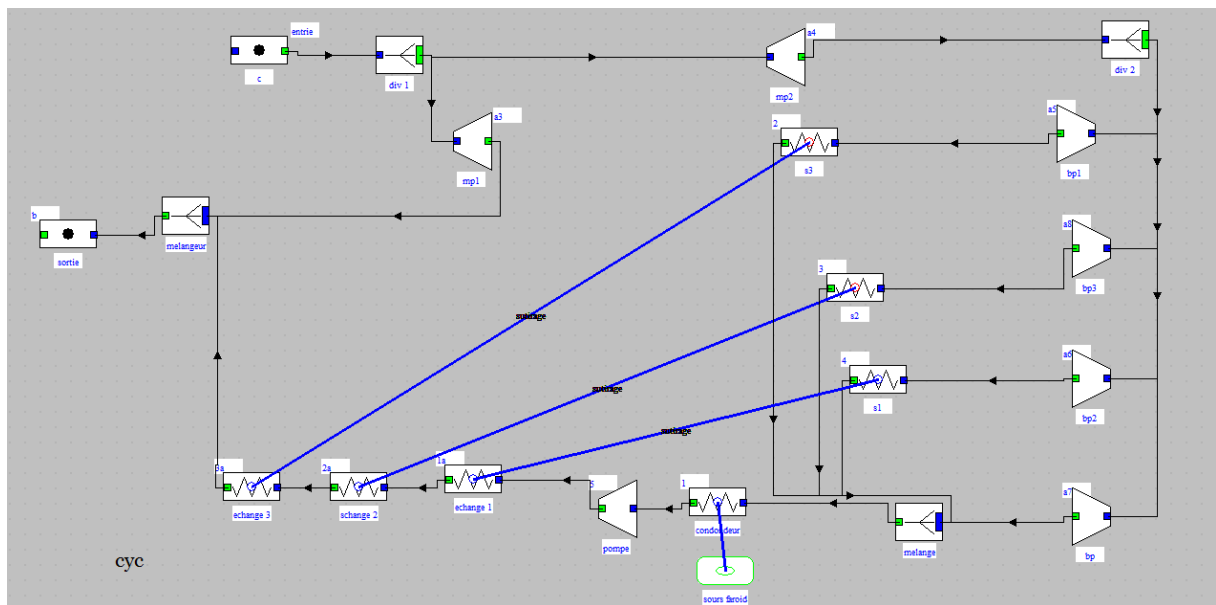


Figure IV.3 : Création du schéma du cycle vapeur (s4,s3,s2,s1)

6.2 Création et mise à jour des éléments du simulateur

Une fois le modèle créé, il faut transférer dans le simulateur les composants du schéma pour entrer les données de notre problème.

• Paramétrage des points

Pour paramétrer les points, opérez comme suit :

Dans la chaudière, le point (1) correspondant au début d'ébullition à 145.60 bars. Il suffit pour cela d'entrer la pression, et d'imposer la température de saturation, avec un titre égal à 0. L'état du point (1) étant totalement défini, les autres variables peuvent être calculées.

- De la même manière, le point (2) peut être défini comme étant à la pression de 145.60 bars, à la température de saturation, avec un titre égal à 1.

- Le point (2) quant à lui est à température de 540C° et à la pression de 145.60 bars. Il peut être calculé.

- Les (THP ; TMP ; TBP), seule sa pression est connue : (40 ; 5.52 ; 0.05) bars successivement avec un titre égal à 1 (vapeur saturée) et d'imposer la température de saturation.

- Le point (resur) correspondant à l'état de resurchauffe de température (540C°) et la même pression avec le premier corps de la turbine (40 bars).

- Le point (cond) correspondant à l'état de condenseur seule sa pression est connue : (0.05bars) avec un titre égal à 0 (liquide saturée) et d'imposer la température saturation.
- Les compressions et les six soutirages leur pression et température sont connus il suffit d'entrer T et P les autres paramètres sont calculer.

7. Paramétrage des transfos

On choisit le mode adiabatique isentropique et système ouvert, et on sélectionne le mode de calcul « imposer le rendement et calculer le transfo » puis on clique sur « calculer » pour calculer les autres paramètres. Sans oublier d'entrer les rendements isentropiques des compressions (0.86 pour Pex et 0.87 pour Pa₁ et Pa₂) et de chaque corps de la turbine (0.84 pour THP, 0.89 pour TMP et 0.84 pour TBP), avec la précision du débit de chaque branche des trois diviseurs et les débits des autres composants sont calculer automatiquement.

Pour pouvoir déterminer les énergies payante et utile ainsi que de calculer l'efficacité énergétique du système, et il faut choisir « type énergie », « l'énergie utile » pour les compressions et la turbine et « l'énergie payante » pour la chaudière.

Finalement dans le simulateur, cliquer sur recalculer, Thermoptim affiche le bilan global du système (figureIV-3)et (figure IV-4) . (Rendement ou efficacité égale à 35.7%)

The screenshot shows the THERMOPTIM Java interface with the following data:

15 POINTS

nom du point	corps	P (bar)	T (°C)
b6	eau	175	246
1	eau	175	354
2	eau	175	355
3	eau	160	540
a1	eau	40	317,53181
4	eau	40	535

13 TRANSFOS

nom transfo	point amont	point aval	type transfo
sa	a2	5a	échange
s6	a1	6a	échange
resurchauffe	a1	4	échange
surchauffe	2	3	échange
vaporiseur	1	2	échange
economiser	b6	1	échange
hp	3	a1	détente

3 NOEUDES

nom	type	veine principale
div1	diviseur	hp
melangeur	mélangeur	pompe
div 2	diviseur	resurchauffe

0 PRESSIONS IMPOSEES

nom	valeur

Bilan

efficacité : 0,15

énergie utile : 58 767

énergie payante : 392 843

unité de débit : kg/s

0 ECHANGEURS DE CHALEUR

nom	type	fluide chaud	fluide froid

Figure IV.4 : écran du simulateur le bilan globale du schéma (figure IV.1)

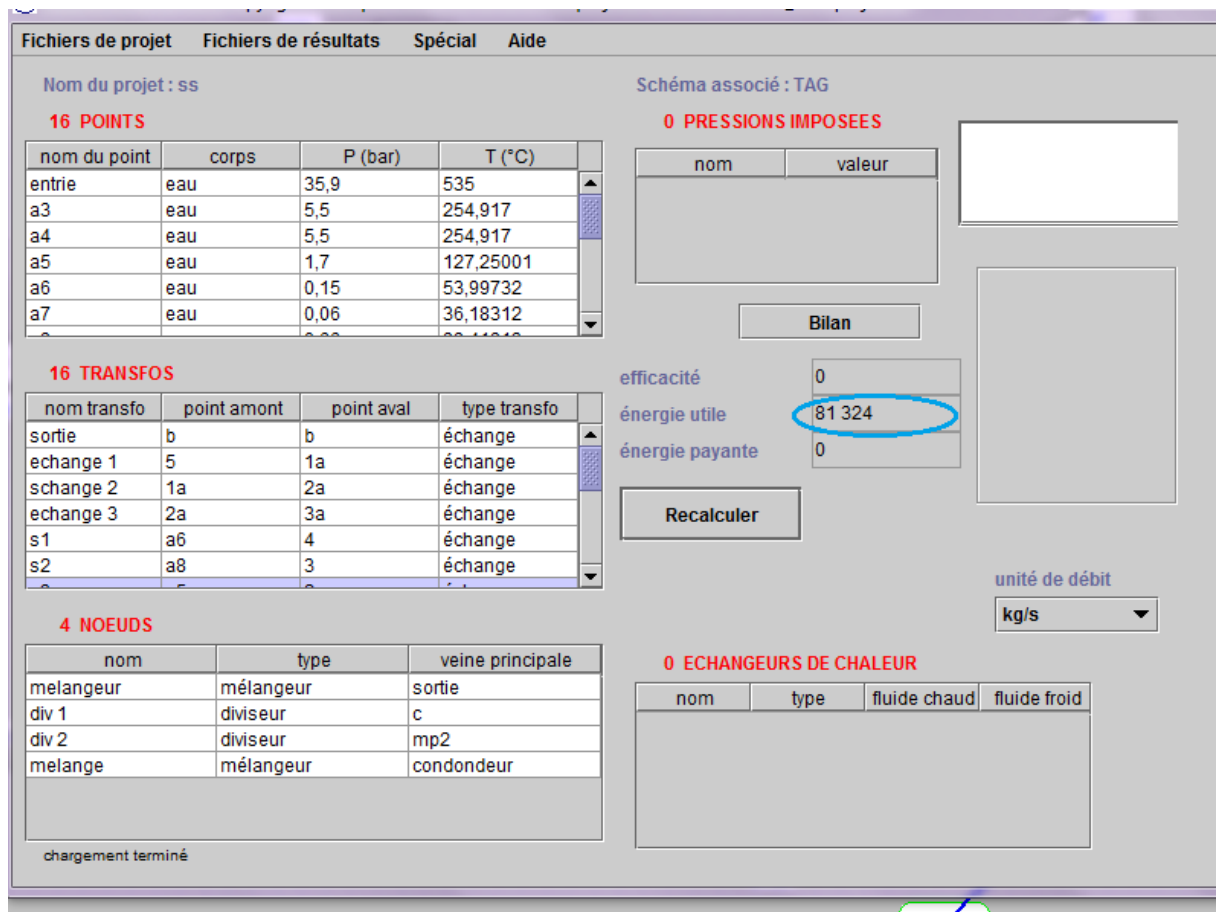


Figure IV.5 : Ecran du simulateur le bilan globale du schéma (figure IV.2)

8. Calcule du rendement de cycle à vapeur par le résultat de thermoptim

-Résultat finale de la simulation figure IV.1

Efficacité : 0,15

Energie utile : 58767

Energie payant : 392843

-Résultat finale de la simulation figure IV.2

Efficacité : 0,

Energie utile : 81324

Energie payant : 0

$$\text{Rendement du cycle} = \frac{\sum \text{energie utile}}{\sum \text{energie payante}}$$

A.N :

$$\eta_g = 81324 + 58767/392843$$

$$\eta_g = 35,7\%$$

La modélisation de cycle vapeur avec Thermoptim conduit aux résultats présentés dans le synoptique de la (figure IV-5) et (figure IV-6) avec un rendement ou efficacité de 35.7 %.

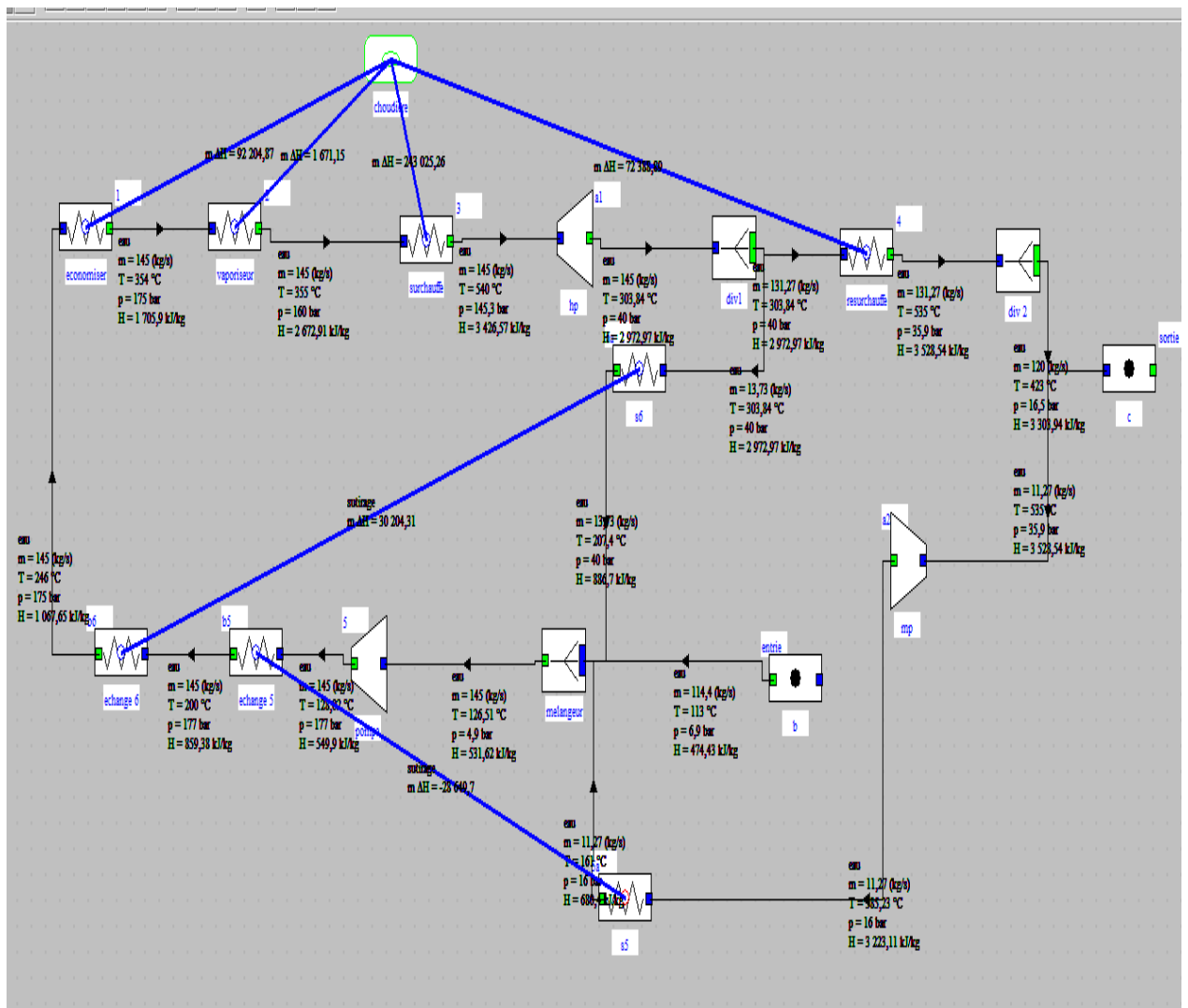


figure IV-6 : Résultats de la simulation de (figure IV.1)

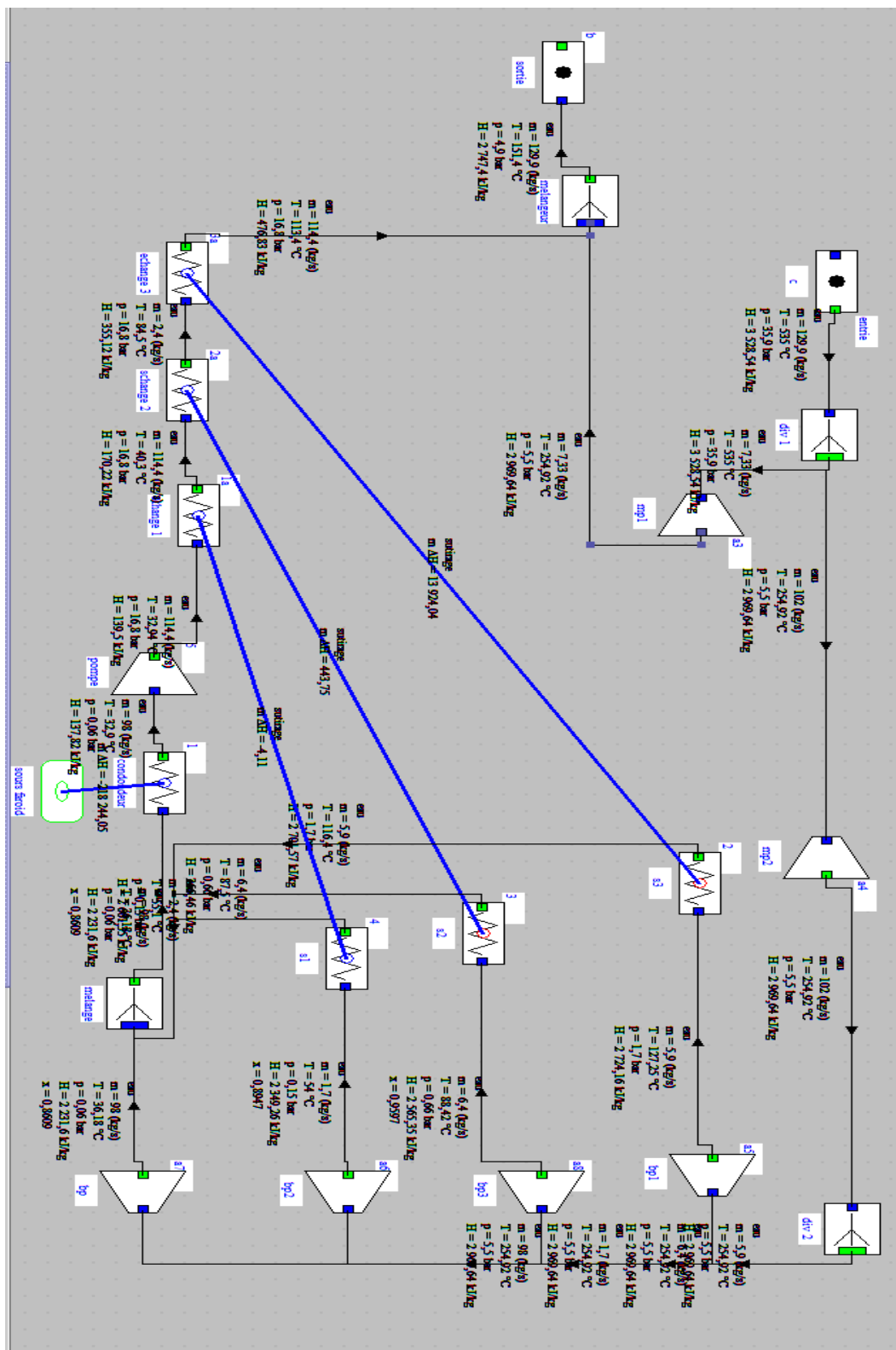


Figure IV-7 : Résultats de la simulation de (figure IV.2)

- Pex \Rightarrow mé11 : le condensât traverse les réchauffeurs à basse pression (BP₁, BP₂, BP₃) et ensuite échauffement du condensât au niveau de la bêche alimentaire, où il y aura une augmentation de température jusqu'à atteindre la sortie de la bêche alimentaire.

- Mé11 \Rightarrow pa1 : on soutire de l'eau condensée à partir de la bêche alimentaire par les pompes d'alimentation. C'est une compression isentropique.

- Pa1 \Rightarrow mé12 (pa2) : c'est le passage dans les réchauffeurs à haute pression (PH5, PH6).
Où il y aura une augmentation de température et la pression reste presque constante (Réchauffage de l'eau d'alimentation par les réchauffeurs PH).

- Mé12 \Rightarrow surch : chauffage et vaporisation et surchauffe de l'eau d'alimentation dans la chaudière.

- Mé12 \Rightarrow econ : chauffage du liquide dans l'économiseur.

- Econ \Rightarrow evap : vaporisation à température constante dans le vaporiseur.

- Evap \Rightarrow surch : surchauffe jusqu'à la température maximale du cycle.

- TPH \Rightarrow mé12 : désurchauffe et condensation de la vapeur du soutirage S6 lors de réchauffage de l'eau d'alimentation au niveau de réchauffeur PH6.

Le même phénomène pour les soutirages S5, S4, S3, S2 et S1.

1. Introduction [6]

La production d'électricité, qu'elle soit assurée par un ou plusieurs centrale électriques, reste l'un des plus importants segments dans l'architecture globale du secteur électrique. En Algérie l'énergie électrique est produite, principalement, à partir les centrales thermiques à vapeur et gaz, ainsi que dans les centrales à cycle combiné qui représentent les meilleures installations à l'heure actuelle avec rendements nets qui atteignent 60%

2. La solution de transformation choisie

La solution choisie concerne la transformation de la première tranche de la centrale de Ras-Djinet en cycle combiné et prévoit le remplacement de la chaudière existante par une turbine à gaz et un générateur de vapeur à récupération correspondant, afin de réaliser le cycle combiné.

3. Principe du fonctionnement de cycle combiné

La quantité considérable d'énergie dans les gaz d'échappement d'une turbine à gaz peut être également employée dans un système secondaire, augmentant considérablement le rendement global. C'est le cycle combiné dans lequel on couple la turbine à gaz qui valorise la température élevée de la combustion par la turbine à vapeur qui utilise uniquement la chaleur rejetée par la turbine à gaz donc le cycle combiné c'est l'association de deux cycles, le cycle gaz qui consiste à alimenter la premier turbine avec du gaz afin de produire de l'électricité, puis d'utiliser le pouvoir des gaz de combustion pour alimenter le cycle vapeur pour produire davantage d'électricité, comme illustré dans la figure suivante.

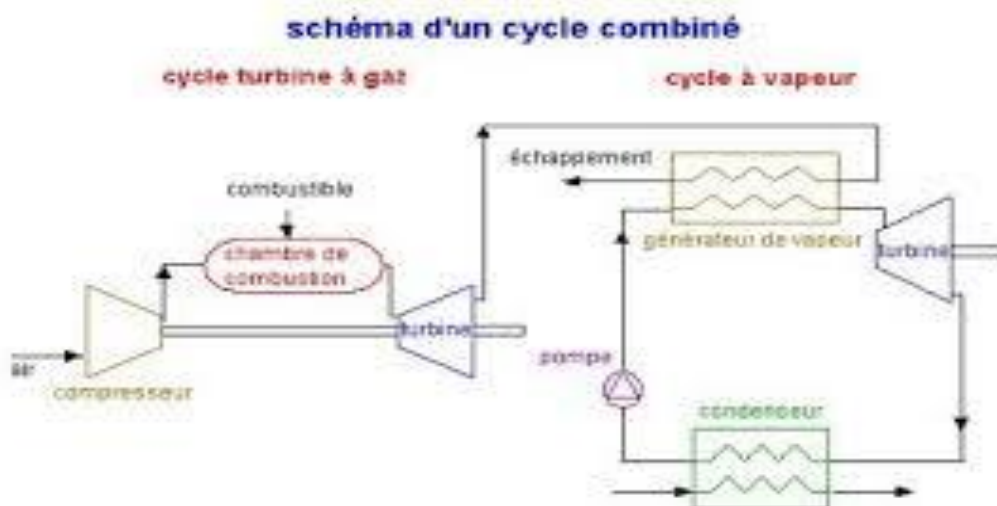


Figure V.1 : cycle combiné

4. Principaux éléments du cycle combiné

4.1 La turbine à gaz

La turbine à gaz est une machine thermique qui connaît actuellement une grande vogue, compte tenu de ses excellentes performances (rendement de 30 à 40% en cycle ouvert et 60% en CC).

Les turbines à gaz sont classifiées en deux catégories :

➤ **Aerodérivatives**

Provenues des turbines à gaz d'aviation, adaptées au sol de puissance électrique de quelques MW avec d'importantes adaptations dues aux vitesses des gaz d'échappement à la sortie de la turbine.

➤ **Stationnaire « heavy – duty »**

De puissances électriques plus de dizaines de MW, développées spécialement pour les applications de production d'électricité.

Les turbines à gaz utilisés dans les cycles combinés sont des machines stationnaires « heavy – duty » comme [7]

- La Générale Electric MS9001 FA (245MW) et FB (267MW).
- La Siemens V94 .3A (263MW).
- La Mitsubishi M701F (266MW).
- L'Alstom GT26 (281MW).
- Le Siemens SGT5-4000 F

4.2 Choix de la turbine à gaz (adaptation)

La turbine à vapeur de Ras Djenet n'était pas conçue préalablement pour fonctionner avec les gaz d'échappement d'une turbine à gaz. Cela nécessite une étude approfondie sur la chaudière de récupération afin d'utiliser le maximum d'enthalpie des gaz du cycle gaz pour réussir l'adaptation de la TAV avec la TAG et garder les mêmes paramètres de fonctionnement de la TAV à l'origine (sans soutirages).

Afin d'atteindre cet objectif la TAG choisie doit garder les mêmes caractéristiques de l'écoulement des fumées dans la chaudière existante à savoir le débit des gaz d'échappement, la température de sortie turbine (T4) et la composition chimique du combustible.

Comme notre chaudière existante reçoit un débit de 145,34 Kg/s pour produire de la vapeur alors il faut choisir une turbine à gaz avec un débit d'échappement capable de remplacer les huit brûleurs de la chaudière existante et ainsi assurer les 145,34 Kg/s, la température de la

sortie de la chaudière existante égale à 540 C° donc la température des gaz d'échappement de la TAG choisi doivent dépasser les 540 C°.

Le tableau suivant présente les caractéristiques des marques des TAG les plus disponibles et répondues sur le marché :[7]

Constructeur	Alstom	Siemens	General Electric	Siemens
Modelé	GT 26	V 94.3A	MS9001FA	SGT5-400F
PUISSANCE CONDITION ISO	281 MW	230 MW	254 MW	240 MW
RAPPORT DE COMPRESSION	30	16	16	17
TENTIONS DE GENERATEURS	20 KV	19KV	19KV	19KV
PUISSANCE NECESSAIRES POUR DEMARRAGE	19.5 KW	6 KW	6 KW	6 KW
DEBIT	915 KG/S	750 KG/S	830KG/S	770 KG/S
TEMPERATURE DE DETENTE	700 C°	620 C°	665 C°	590 C°

Tableau V.1 : Les TAV les plus répondues

4.3 Description de la turbine à gaz siemens SGT5-400F[8] La turbine à gaz de type siemens SGT5-4000F est une turbine a un seul arbre elle est apte à faire fonctionner des générateurs dans des centrales a la charge de base et a plein charge .ainsi à des appellions de commande mécanique, on peut utiliser c'est turbine dans des cycles combinés pour améliorer la production d'électricité, elles peuvent fonctionner par des combustibles liquides (fuel lourd ou léger), ou par des combustible gazeux ayant des valeurs calorifique différent telle que le gaz naturel.

Les principales caractéristiques et les prestations attendues de la part de la turbine à gaz SGT5-400F sont reprises dans le tableau suivant :

Puissance électrique nette	240 MW
Puissance électrique du gaz combustible	600 MW
Débit du gaz combustible	12.5 KG/S
Débit d'air à l'aspiration	725.5 KG/S
Débit de gaz à la sortie	770 KG/S
Température du gaz a la sortie	590 C°
Vitesse de rotation	3000 tr/min

Tableau V.2 : caractéristique turbine à gaz SGT5-4000F [8]

La turbine à gaz devra équiper toutes les auxiliaires nécessaires, elle sera installée à l'intérieur d'une armoire acoustique afin de respecter les limites de bruit la structure de l'armoire sera protégée par un revêtement résistant au feu de manière en cas d'incendie.

L'armoire sera construite de manière à permettre de retirer facilement les panneaux d'isolation afin de permettre l'accès à la turbine pour les opérations de maintenance, les conduite de système ventilation de l'armoire seront positionnées de manière à réduire au minimum le besoins de démontage pour la maintenance de la turbine.

Les composants de la turbine à gaz sont :

Compresseur

Le compresseur pour le gaz a la même fonction que la pompe a les liquides, fondamentalement nommé le compresseur qu'il fournit de l'énergie au gaz pour élever sa pression. Cette addition d'énergie provoque l'écoulement des gaz. Un compresseur est le même que une turbine dans l'inverse, comprimé plutôt qu'a détente les gaz qui les traverse.

Chambre de combustion

Elle comporte des brûleurs Hébrides pour un fonctionnement double gaz/fuel. Ces brûleurs permettent de réduire les émissions de NOx, par un procédé sec tout en maintenant les émissions de CO a un niveau minimale.

5. Principe de fonctionnement

Le cycle combine fonctionne suivant les étapes suivantes :

5.1 Circuit TAG

- ✓ L'air frais est comprimé par un compresseur.
- ✓ L'air ainsi comprimé est échauffé dans une chambre de combustion ou est injecte le combustible.
- ✓ Les gaz chauds produits sont propulsés dans une turbine dont ils activent la rotation.
- ✓ La turbine entraine l'alternateur qui produit l'électricité.

5.2 Circuit TAV

- ✓ La chaleur des gaz qui sortent de la turbine a combustion est récupérée dans la chaudière de récupération.
- ✓ L'eau introduite sous pression dans la chaudière de récupération se transformée en vapeur.
- ✓ La vapeur produite est envoyée vers la turbine à vapeur (TAV) qu'elle fait tourner.
- ✓ La turbine entraine l'alternateur qui produit l'électricité.

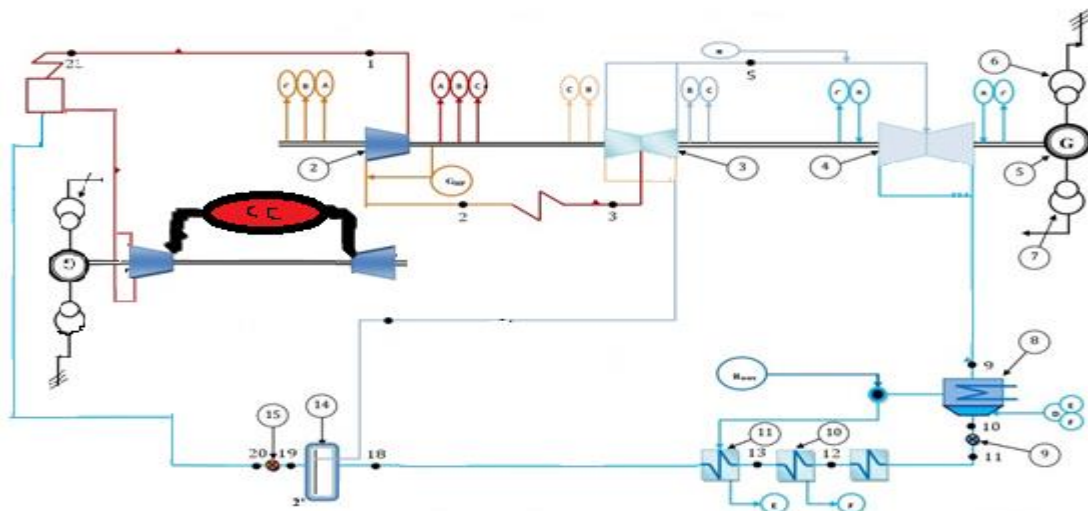


Figure V.2 : principe fonctionnement d'un cycle combine

6. Simulation sur thermoptim du cycle combine propose

6.1 Application sur Thermoptim

Le cycle combine est effectuée avec une turbine à gaz combine avec un cycle vapeur.

6.2 Création du schéma

Dans la fenêtre de l'éditeur de schémas on représente les différents éléments de cycle combine.

Le condenseur, qui du type échange, les pompes (d'extraction, d'alimentation) qui est un type de compresseur, la chaudière, représenter par quatre transformations de type échange de chaleur (l'économiseur, le vaporiseur, la surchauffeur et le resurchauffeur), les différents phases d'échauffement de l'eau ; la turbine, qui est un organe de détente (représenter par les corps HP, MP, BP) et pour introduire les prélèvements, il faut introduire des diviseurs, et des mélangeurs.

Le Cycle gaz est représenté par un compresseur de type compression, une chambre de combustion et de type combustion et une turbine de détente dans la (figure V.4)

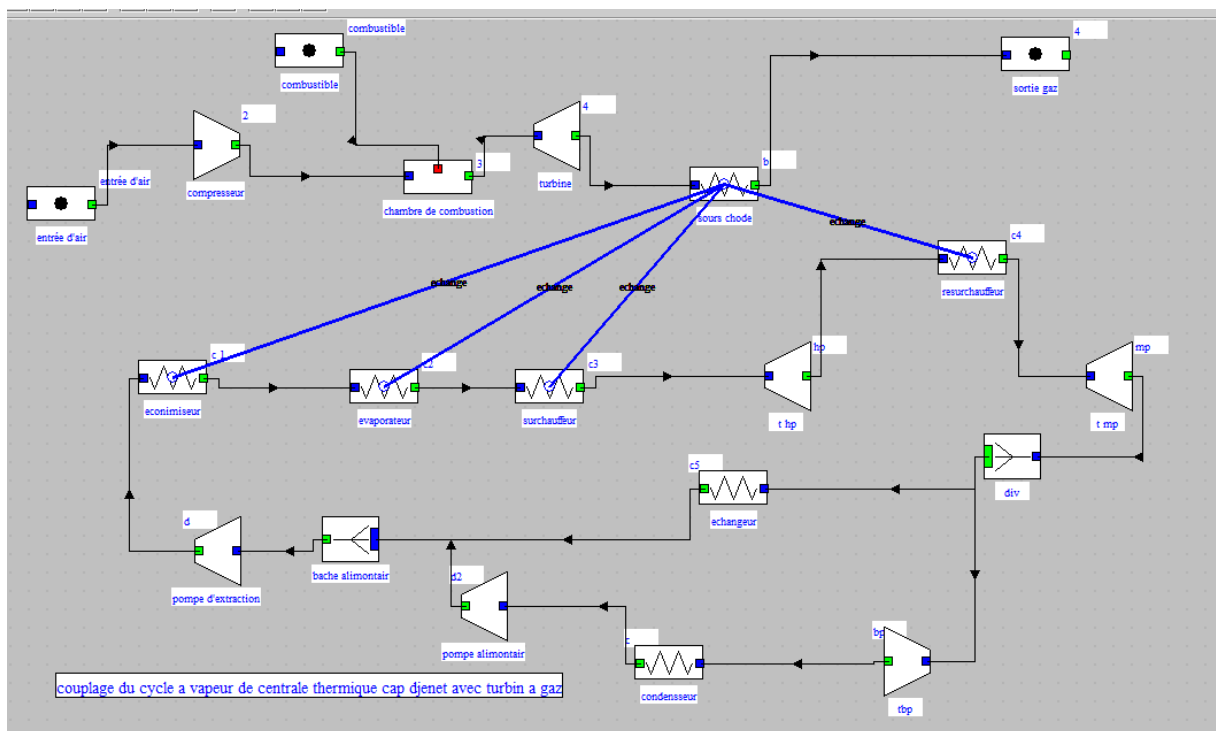


Figure V.3 : Création du schéma de cycle combine

6.3 Création et mise à jour des éléments du simulateur

- **Paramétrage des points**

- Les caractéristique de cycle gaz son present dans le (TABLEAU V.2)
- Les (THP ; TMP ; TBP), seule sa pression est connue : (40 ; 5.52 ; 0.05) bars successivement avec un titre égal à 1(vapeur saturée) et d'imposer la température de saturation.
- Le point () correspondant à l'état de resurchauffe de température (540C°) et la même pression avec le premier corps de la turbine (40 bars).
- Le point (c) correspondant à l'état de condenseur seule sa pression est connue : (0.05bars) avec un titre égal à 0 (liquide saturée) et d'imposer la température saturation.
- Les compressions et les six soutirages leur pression et température sont connus il suffit d'entrer T et P les autres paramètres sont calculer.

- **Paramétrage des transfos**

On choisir le mode adiabatique isentropique et système ouvert, et on sélectionne le mode de calcul « imposer le rendement et calculer le transfo » puis on clique sur « calculer » pour calculer les autres paramètres. Sans oublier d'entrer les rendements isentropiques des compressions et des détente, avec la précisions du débit de chaque branche de diviseur et il faut choisir « type énergie », « l'énergie utile » pour les compressions et la turbine et « l'énergie payante » pour la chambre de combustion.

Finalement dans le simulateur, cliquer sur recalculer, ThermoOptim affiche le bilan global du système (figure V-5). (Rendement ou efficacité égale à 51.7%)

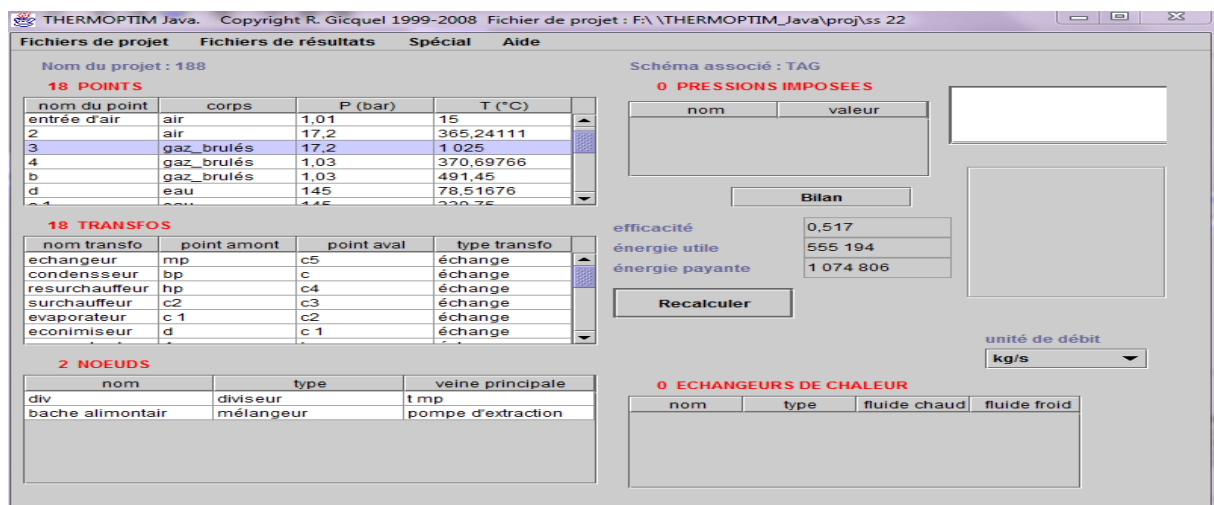


Figure V-4 : Ecran du simulateur avec le bilan global du cycle combine.

La modélisation de la transformation de cycle vapeur de la centrale de CAP DJENAT en cycle combine a toit niveaux de pression avec resurchauffe avec thermoptim conduit aux résultats présents dans la figureV-6 avec un rendement ou efficacité de 51,7%

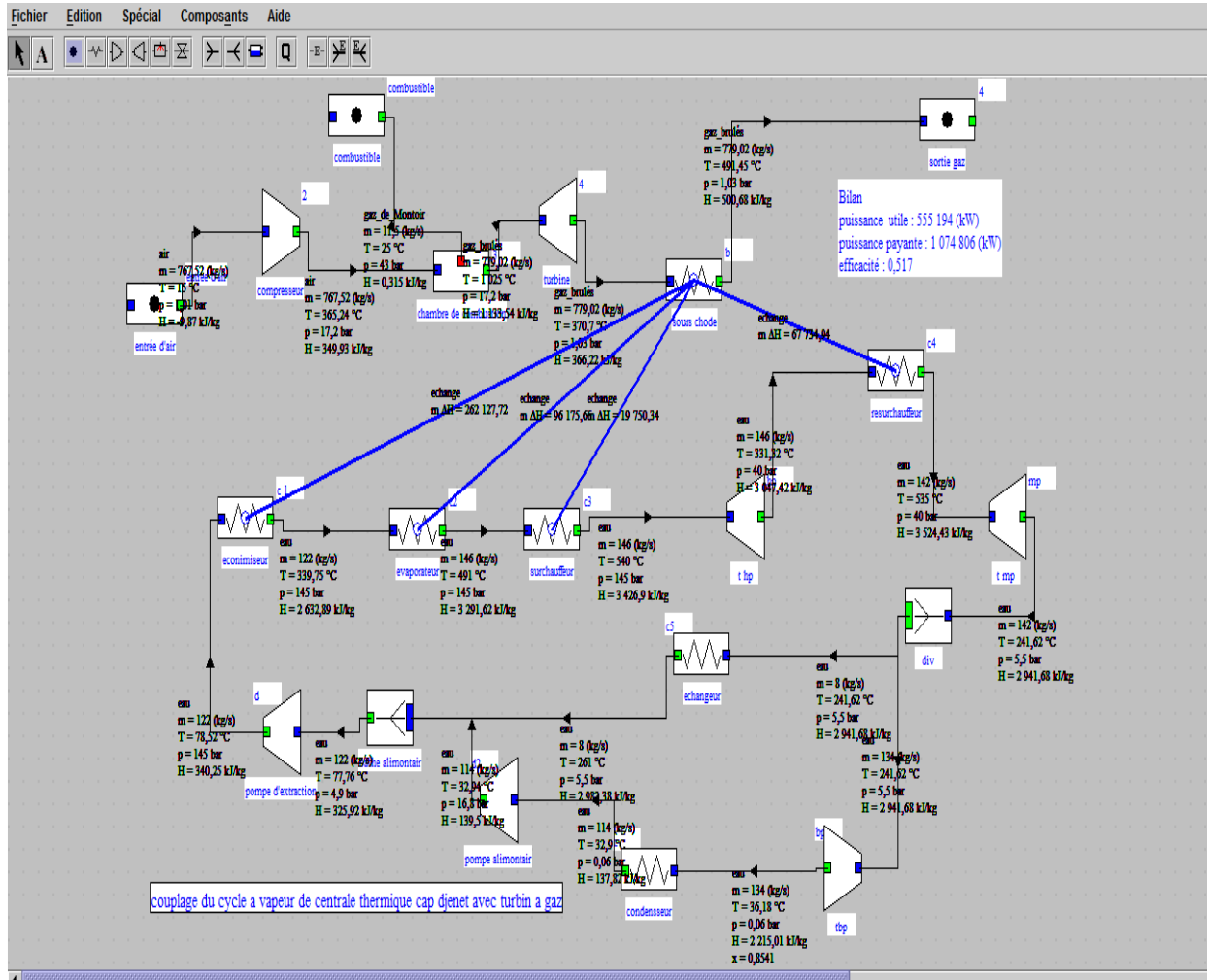


Figure V-5 : Résultats de la simulation de la tranche transformée en cycle combine

Conclusion :

À partir de la simulation on conclut que la transformation de la première tranche de la centrale de cap-djenat en cycle combiné permet d'augmenter le rendement de la centrale actuelle de 35,7% à 51,7%.

Conclusion générale :

L'énergie caractérise la capacité à modifier un état, à produire un travail entraînant du mouvement, de la lumière, ou de la chaleur .toute action au changement d'état nécessite que de l'énergie soit échangée.

Elle est obtenue par la combustion de carburants ou de combustible (pétrole, essence ,gazole,fioul,gaz,charbon,bois ,etc.....) ,Par l'utilisation de l'électricité ou de forces naturelles comme le vent ou l'énergie solaire.

La production de l'énergie électrique dans les centrales thermiques est tout simplement une conversion d'énergie chimique en énergie mécanique puis en énergie électrique. L'évolution et le contrôle de cette transformation nous permettent de profiter le maximum possible sur le plans énergétique et économique.

Notre choix est porter sur la centrale thermique de cap djenat vu que a été construite dans le but de produire l'énergie électrique à partir de la vapeur d'eau suivant un circuit fermé et pour qu'elle puisse produit plus d'énergie électrique.

D'après notre étude le travail des turbines des 04 groupes identiques de la centrale thermique à vapeur de Ras-Djanat sont plus élevés dans les cycles eau-vapeur sans réchauffeurs à haute pression, ce qui donne des puissances aux bornes des alternateurs plus élevés.

Ces résultats nous montrent que les réchauffeurs à haute pression et basse pression ont pour rôle d'élever les rendements des centrales thermiques, par préchauffage de l'eau d'extraction pour les réchauffeurs BP et l'eau d'alimentation pour les réchauffeurs HP ce qui diminutions des travaux des turbine par diminution de débit de vapeur ce qui donne une puissance aux bornes des alternateurs moins élevée.

Donc on peut tirer comme conclusion que les centrales thermiques à soutirages de vapeur sont plus rentables et moins puissantes par rapport aux centrales sans soutirages.

Le cycle combine permet de récupérer la chaleur rejetée par la turbine à gaz qui se trouve à une température plus élevée dans ce cadre d'idée ,notre travail a porté sur une étude technique de la adaptation de turbine à gaz avec turbine à vapeur de la central thermique RAS-DJINAT en cycle combiné pour la transformation de la centrale de CAP-DJINAT on a choisi la turbine à gaz (SGT5-400F) , et un générateur de vapeur a récupération avec resurchauffe.

Thermodynamiquement le cycle combine permet d'augmenter la puissance de la première tranche de 175 MW a environ 400 MW, et d'augmentent de 36,17% à 51.7%

Bibliographie :

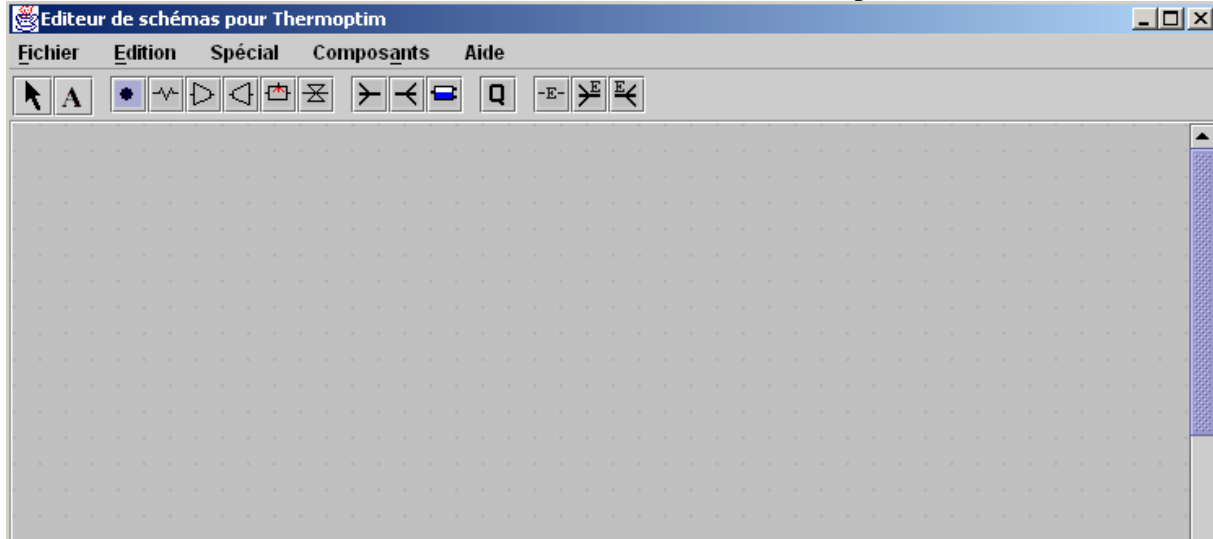
- [1] Centrale thermique de cap djenat , documentation sonelgaz,1996.
- [2] Documentations de la centrale de cap djenat, KWU, introduction générale, service de formation professionnelle° d'enregistrement 5501,2000.
- [3] Documentations de la centrale, les soutirages et les réchauffeurs d'eau notice technique des centrales thermique, fascicule N° 16.
- [4] Documentations de la centrale de cap djenat : générateur de vapeur, Allemagne, 2009
- [5] Documentations de la centrale de cap djenat : la turbine à vapeur, réalise par M^r : SAADA GHERSALLAH ,1998
- [6] Documentations de la centrale de cap djenat , équipement principal (chapitre n°3 : la turbine),2002.
- [7] Thèse de magister : Réduction des réversibilités d'un cycle combine a pression duale et triple M^r : SKODARLI Radhouane, UMBB 2011.
- [8] Documentations de la centrale de cap djenat , étude technoéconomique de la transformation de la centrale de cap djenat en cycle combine
- [9] Documentation sonal gaz CEEG sur la turbine à gaz (siemens SGT5-4000F)
- [10] R. Gicquel, système énergétique, tome 1 : méthodologie d'analyse, bases de thermodynamique, thermoptime, presses de l'école des mines de parts, 2001.
- [11] R. Gicquel, système énergétique, tome 2 : application de l'école des mines de paris ,2001.
- [12] Gicquel r, utilisation pédagogique de thermoptime , 2000.
- [13] Gicquel r, utilisation pédagogique avec thermoptime : exploration de divers cycles, problématique d'optimisation, école des mines de paris,2002.
- [14] International steam tables , proprieties of water and steam base on the industrial formulation iapws-if 97 ,secand edition

Annexe





Environnements de travail de thermoptim : [10,11]

CREATION DU SCHEMA

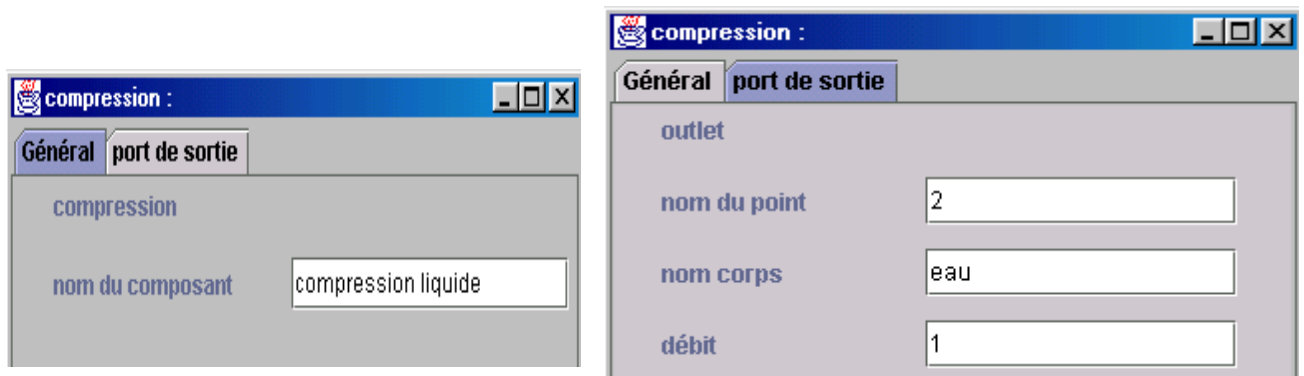
Ouvrez THERMOPTIM. L'écran de l'éditeur de schémas vous est présenté :



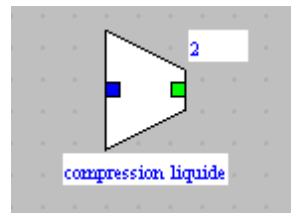
Il comporte une palette présentant les différents composants représentables (échanges de chaleur, compresseurs, organes de détente, chambres de combustion, mélangeurs, diviseurs...), et un panneau de travail où l'on place ces composants et où on les interconnecte par des liens vectoriels.

Le schéma de la centrale à vapeur indique sans ambiguïté les composants à sélectionner : la pompe, qui est un type de compresseur , la chaudière, que l'on représentera ici en fait par trois transformations de type échange de chaleur , afin de distinguer les différentes phases d'échauffement de l'eau (dans l'économiseur, le vaporiseur et le surchauffeur), la turbine , qui est un organe de détente, et le condenseur, qui est du type échange .

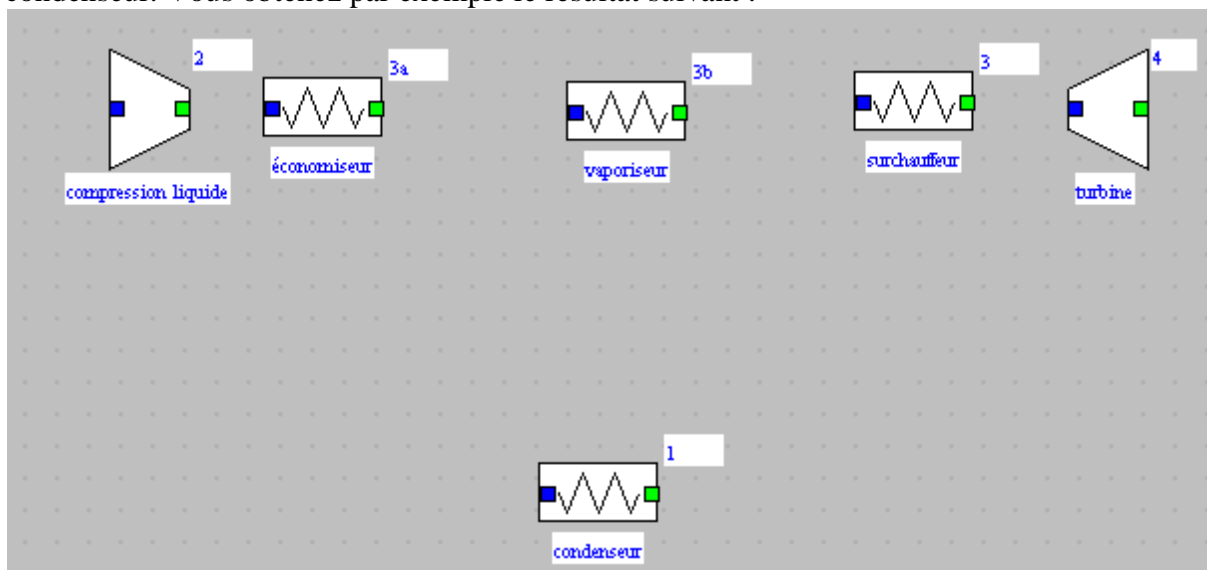
Commencez par sélectionner le compresseur et placez-le sur le panneau de travail. Une fenêtre à onglets de définition du composant vous est proposée. Commencez par entrer son nom :



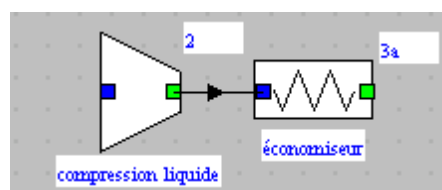
Cliquez ensuite sur l'onglet du port de sortie, et entrez le nom du point de sortie (2), le nom du corps (eau), et le débit (kg/s). Cliquez ensuite sur le bouton "Appliquer" pour valider les deux onglets. Le composant apparaît à l'écran :



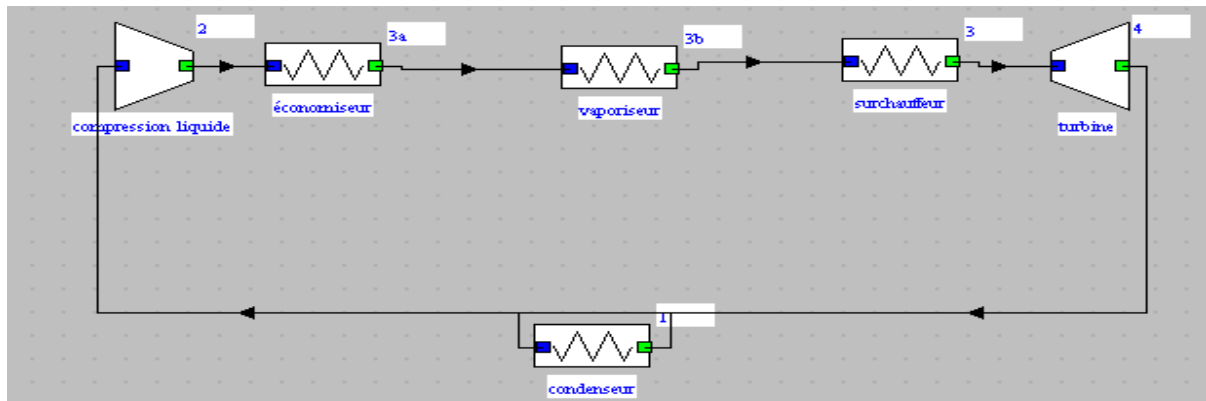
Entrez ensuite de manière similaire les trois parties de la chaudière, la turbine et le condenseur. Vous obtenez par exemple le résultat suivant :



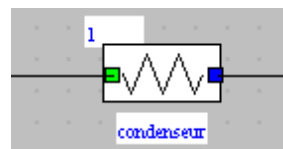
Vous pouvez alors commencer à connecter entre eux ces composants. Pour cela, cliquez sur le port de sortie (vert) de l'un d'entre eux (par exemple le compresseur), et faites glisser la souris jusqu'au port d'entrée du composant auquel il doit être relié (ici l'économiseur), et relâchez le clic. Un lien orienté apparaît alors :




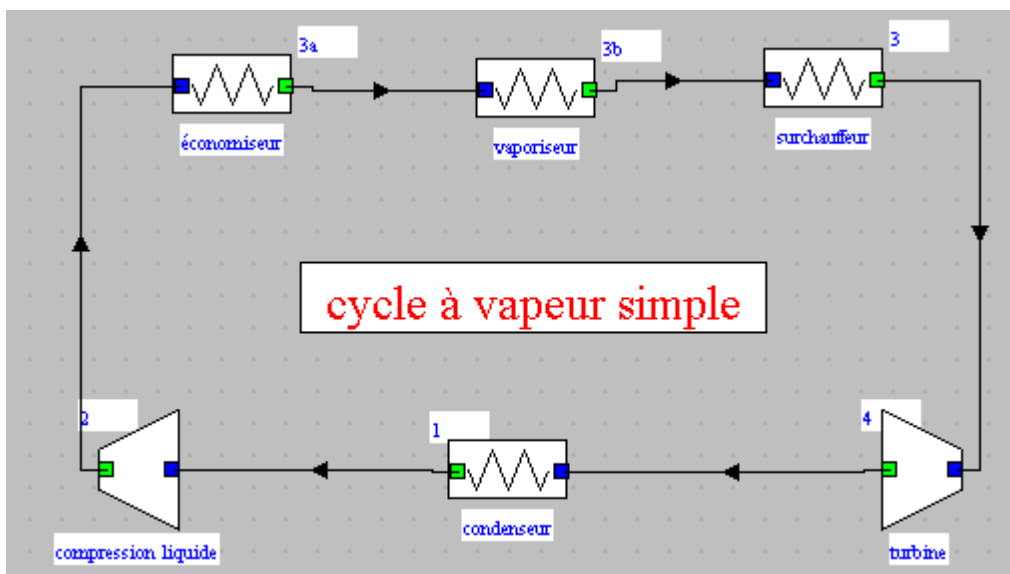
Poursuivez l'opération en connectant les différents composants. Vous obtenez le résultat suivant :



Au niveau du condenseur, les liens s'entrecroisent, étant donné que, par défaut, les composants sont orientés de droite à gauche. Pour obtenir un meilleur effet visuel, sélectionnez le condenseur, et activez la ligne "Miroir vertical" du menu Edition ou tapez sur la touche F1. Le composant s'oriente alors de droite à gauche



Le schéma précédent est cependant encore déséquilibré, avec cinq composants en haut, et un seul en bas. Il peut être préférable d'aligner le condenseur, la pompe et la turbine, ce qui conduit à orienter aussi ces deux derniers composants de droite à gauche. Le résultat obtenu est le suivant (on a de plus rajouté un commentaire  pour désigner le schéma) :



En utilisant les flèches du clavier, vous pouvez affiner le schéma en déplaçant légèrement les composants qui ne sont pas bien alignés, comme le vaporiseur ou le condenseur. A ce stade, la description qualitative du cycle est terminée. Pour faciliter l'archivage de vos schémas, vous pouvez leur associer un nom et un descriptif, en sélectionnant la ligne "Descriptif" du menu Fichier

nom

cycle vapeur

Descriptif

cycle à vapeur simple pour prise en mains de Thermoptim

Sauvez ensuite votre schéma en lui donnant un nom avec l'extension .dia : "vap_simple.dia" par exemple.

En connectant les composants, vous avez propagé certaines informations de l'amont vers l'aval, de telle sorte que tous les noms et les corps des ports d'entrée sont initialisés automatiquement, comme vous pouvez le vérifier en sélectionnant un composant et en faisant afficher ses propriétés (F4 ou menu Edition).

Un autre point à noter est que l'entrée du nom du corps peut être faite de deux manières : soit directement, soit en double-cliquant dans le champ du nom, ce qui ouvre la liste structurée des corps disponibles dans la base, auquel cas vous choisissez celui que vous désirez.

composant	type	simulateur	Schéma	sélection...
compression liquide	compression		X	<input checked="" type="checkbox"/>
turbine	détente		X	<input checked="" type="checkbox"/>
condenseur	échange		X	<input checked="" type="checkbox"/>
économiseur	échange		X	<input checked="" type="checkbox"/>
surchauffeur	échange		X	<input checked="" type="checkbox"/>
vaporiseur	échange		X	<input checked="" type="checkbox"/>

Dans la table de gauche, apparaît la liste des composants que vous avez créés. En face de chacun d'eux, un "X" marque la case "schéma", alors que la case "simulateur" est vide. La colonne de droite indique quels sont les composants sélectionnés, c'est-à-dire ceux qui doivent être pris en compte lors des opérations réalisées à partir de l'interface. Par défaut, tous les composants sont sélectionnés, mais un bouton vous permet de les désélectionner tous si vous le désirez. Autrement, en double-cliquant sur une ligne de la table, vous la sélectionnez ou la désélectionnez.

Pour transférer dans le simulateur l'ensemble des composants, cliquez sur le bouton "Mettre à jour le simulateur à partir du schéma". Un nom vous est demandé pour le projet. Entrez par exemple "cycle à vapeur simple". Une fois le transfert réalisé, l'écran de projet apparaît comme suit :

THERMOPTIM Java. Copyright R. Gicquel 1999-2005

Fichiers de projet Fichiers de résultats Spécial Aide

Nom du projet : cycle vapeur simple Schéma associé : cycle vapeur

6 POINTS

nom du point	corps	P (bar)	T (°C)
1	eau	1	26,85
2	eau	1	26,85
3	eau	1	26,85
4	eau	1	26,85
3a	eau	1	26,85
3b	eau	1	26,85

6 TRANSFOS

nom transfo	point amont	point aval	type transfo
vaporiseur	3a	3b	échange
surchauffeur	3b	3	échange
économiseur	2	3a	échange
condenseur	4	1	échange
compression l...	1	2	compression
turbine	3	4	détente

NOEUDS

nom	type	veine principale

PRESSIONS IMPOSEES

nom	valeur

Bilan

efficacité

énergie utile

énergie payante

Recalculer

unité de débit

ECHANGEURS DE CHALEUR

nom	type	fluide chaud	fluide froid

Si jamais les composants sont insuffisamment définis dans l'éditeur de schémas, ils ne sont pas transférés et sont colorés en jaune. Thermoptim cherche à avertir l'utilisateur en cas de problème en lui adressant un message, mais il est possible qu'une erreur subsiste. Dans ce cas, sélectionnez un par un ceux qui posent problème, choisissez la ligne "Affichez les propriétés" dans le menu Edition, et passez en revue les différents onglets pour voir si une information ne manque pas. Si un champ n'est pas éditable, il vous faudra déconnecter le composant pour le libérer. Vous le reconnecterez une fois le problème corrigé.

Six points et six transfos ont été créés, avec un paramétrage par défaut (1 bar et 300 K pour les points). Pour terminer la création du modèle, vous devez maintenant ouvrir chacun des écrans des points et transfos créés, et les paramétrer pour qu'ils correspondent bien au cas qui vous intéresse. Vous pouvez le faire soit à partir de l'écran de projet ci-dessus, soit à partir de l'éditeur de schémas, en double-cliquant sur les composants pour accéder aux transfos, et sur les liens pour accéder aux points (vous pouvez bien sûr aussi les ouvrir à partir des écrans des transfos).

PARAMETRAGE DES POINTS

Entrez l'état du corps au point 1. On connaît sa pression (bar), et on sait qu'il se trouve à la température de saturation, à l'état liquide.

Pour trouver sa température, il suffit de sélectionner "imposer la température de saturation" (par défaut, le titre vaut 0, ce qui correspond à l'état liquide).

projet	cycle vapeur extraction et réchauffe		<input type="checkbox"/> observée	<	>
point	1				
corps	eau	afficher	Dupliquer	Sauver	
	<input type="checkbox"/> mélange externe	Supprimer		Fermer	
Système ouvert (T,P,h) Système fermé (T,v,u) Mélanges humides					
P (bar)	0,023	<input checked="" type="radio"/> P et T connus			
<input type="checkbox"/> pression contrôlée	h (kJ/kg)	82,83661159	<input type="radio"/> P et h connus		
	s (kJ/kg/K)	0,292821436	<input type="radio"/> P et s connus		
	exergie (kJ/kg)	-9,4461			
T (°C)	19,74562	<input type="radio"/> non contraint			
T (K)	292,9	<input type="radio"/> imposer la pression de saturation			
titre	0	<input checked="" type="radio"/> imposer la température de saturation			
u (kJ/kg)	82,83430774	écart Tsat	0		
s (kJ/kg/K)	0,292821436				
V (m ³ /kg)	0,00100167242				
Calculer					

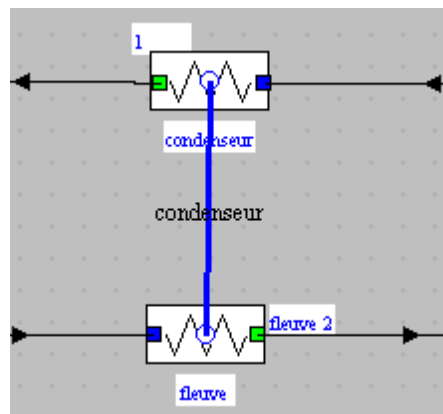
Les autres variables intensives peuvent alors être calculées en cliquant sur le bouton "Calculer".

Le point 1 est maintenant défini. Pour paramétrer les autres points, opérez comme suit.

Pour le point (2), indiquez la seule information connue à son sujet, sa pression $p = 165$ bar. En l'état actuel du calcul du cycle, on ignore sa température ou son enthalpie.

Le point 3a correspondant au début d'ébullition à 165 bar. Il suffit pour cela d'entrer la pression, et d'imposer la température de saturation, avec un titre égal à 0. L'état du point 3a étant totalement défini, les autres variables peuvent être calculées.

Le nom de l'échangeur est alors demandé. Une fois que vous l'avez indiqué, l'échangeur est symbolisé par un lien entre les deux transfos :



Vous pouvez maintenant effectuer des tests de sensibilité, par exemple sur la pression MP. Si vous fixez sa valeur à 8 bar au lieu de 30, puis cliquez sur "Imposer la pression", tous les points à la pression MP sont mis à 8 bar. Vous pouvez alors recalculer l'ensemble du cycle, ce qui donne une légère amélioration du bilan :

Bilan	
efficacité	0,425272
énergie utile	1 544,47
énergie payante	3 631,71

Diagramme entropique de la vapeur d'eau [14]

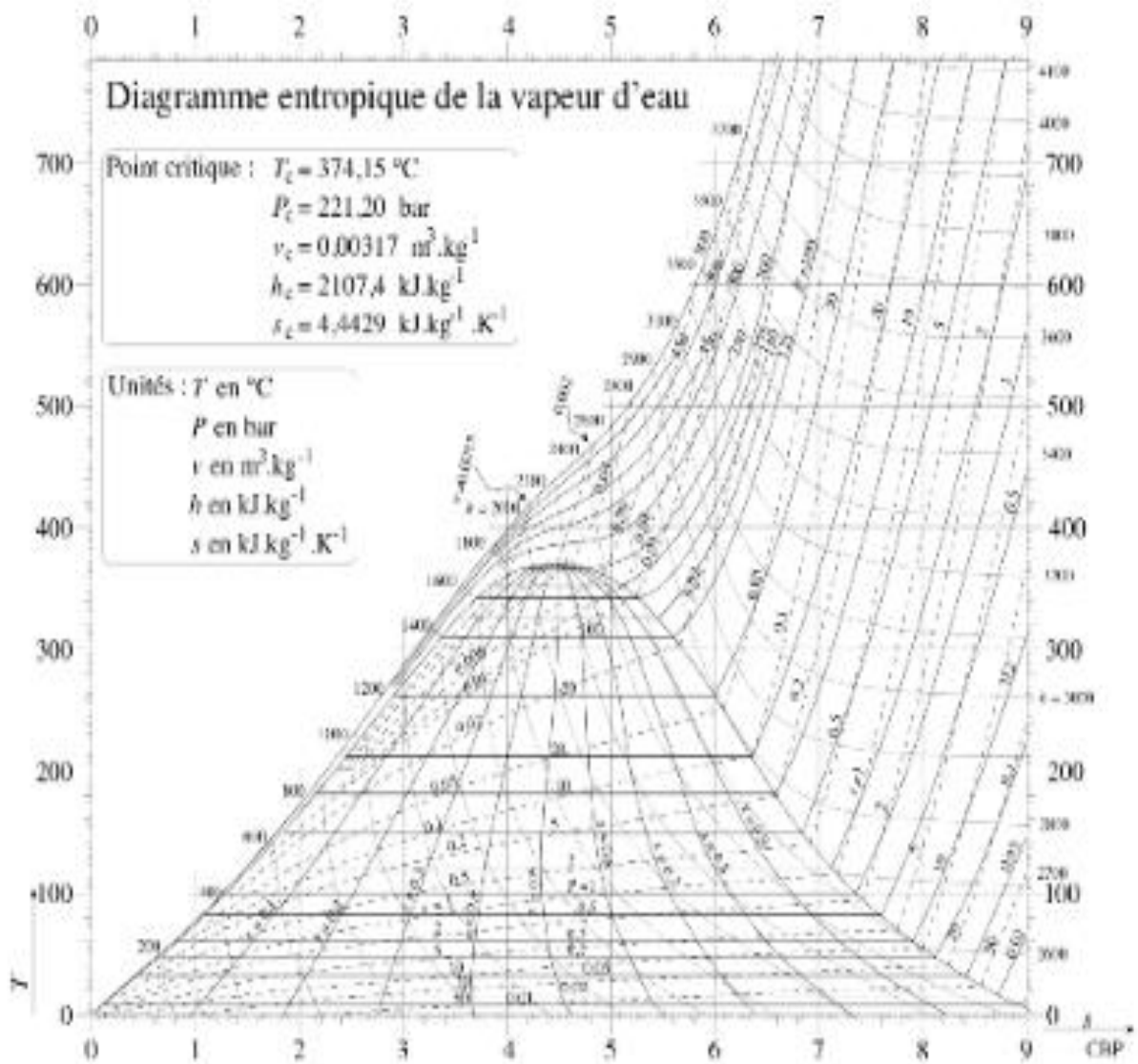


Table C-2 Properties of Saturated H₂O—Pressure Table

P, MPa	T, °C	Volume, m ³ /kg		Energy, kJ/kg		Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		v _f	v _g	u _f	u _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g
0.000611	0.01	0.001000	206.1	0.0	2375.3	0.0	2501.3	2501.3	0.0000	9.1571	9.1571
0.0008	3.8	0.001000	159.7	15.8	2380.5	15.8	2492.5	2508.3	0.0575	9.0007	9.0582
0.001	7.0	0.001000	129.2	29.3	2385.0	29.3	2484.9	2514.2	0.1059	8.8706	8.9765
0.0012	9.7	0.001000	108.7	40.6	2388.7	40.6	2478.5	2519.1	0.1460	8.7639	8.9099
0.0014	12.0	0.001001	93.92	50.3	2391.9	50.3	2473.1	2523.4	0.1802	8.6736	8.8538
0.0016	14.0	0.001001	82.76	58.9	2394.7	58.9	2468.2	2527.1	0.2101	8.5952	8.8053
0.0018	15.8	0.001001	74.03	66.5	2397.2	66.5	2464.0	2530.5	0.2367	8.5259	8.7626
0.002	17.5	0.001001	67.00	73.5	2399.5	73.5	2460.0	2533.5	0.2606	8.4639	8.7245
0.003	24.1	0.001003	45.67	101.0	2408.5	101.0	2444.5	2545.5	0.3544	8.2240	8.5784
0.004	29.0	0.001004	34.80	121.4	2415.2	121.4	2433.0	2554.4	0.4225	8.0529	8.4754
0.006	36.2	0.001006	23.74	151.5	2424.9	151.5	2415.9	2567.4	0.5208	7.8104	8.3312
0.008	41.5	0.001008	18.10	173.9	2432.1	173.9	2403.1	2577.0	0.5924	7.6371	8.2295
0.01	45.8	0.001010	14.67	191.8	2437.9	191.8	2392.8	2584.6	0.6491	7.5019	8.1510
0.012	49.4	0.001012	12.36	206.9	2442.7	206.9	2384.1	2591.0	0.6961	7.3910	8.0871
0.014	52.6	0.001013	10.69	220.0	2446.9	220.0	2376.6	2596.6	0.7365	7.2968	8.0333
0.016	55.3	0.001015	9.433	231.5	2450.5	231.5	2369.9	2601.4	0.7719	7.2149	7.9868
0.018	57.8	0.001016	8.445	241.9	2453.8	241.9	2363.9	2605.8	0.8034	7.1425	7.9459
0.02	60.1	0.001017	7.649	251.4	2456.7	251.4	2358.3	2609.7	0.8319	7.0774	7.9093
0.03	69.1	0.001022	5.229	289.2	2468.4	289.2	2336.1	2625.3	0.9439	6.8256	7.7695
0.04	75.9	0.001026	3.993	317.5	2477.0	317.6	2319.1	2636.7	1.0260	6.6449	7.6709
0.06	85.9	0.001033	2.732	359.8	2489.6	359.8	2293.7	2653.5	1.1455	6.3873	7.5328
0.08	93.5	0.001039	2.087	391.6	2498.8	391.6	2274.1	2665.7	1.2331	6.2023	7.4354
0.1	99.6	0.001043	1.694	417.3	2506.1	417.4	2258.1	2675.5	1.3029	6.0573	7.3602
0.12	104.8	0.001047	1.428	439.2	2512.1	439.3	2244.2	2683.5	1.3611	5.9378	7.2980
0.14	109.3	0.001051	1.237	458.2	2517.3	458.4	2232.0	2690.4	1.4112	5.8360	7.2472
0.16	113.3	0.001054	1.091	475.2	2521.8	475.3	2221.2	2696.5	1.4553	5.7472	7.2025
0.18	116.9	0.001058	0.9775	490.5	2525.9	490.7	2211.1	2701.8	1.4948	5.6683	7.1631
0.2	120.2	0.001061	0.8857	504.5	2529.5	504.7	2201.9	2706.6	1.5305	5.5975	7.1280
0.3	133.5	0.001073	0.6058	561.1	2543.6	561.5	2163.8	2725.3	1.6722	5.3205	6.9927
0.4	143.6	0.001084	0.4625	604.3	2553.6	604.7	2133.8	2738.5	1.7770	5.1197	6.8967
0.6	158.9	0.001101	0.3157	669.9	2567.4	670.6	2086.2	2756.8	1.9316	4.8293	6.7609
0.8	170.4	0.001115	0.2404	720.2	2576.8	721.1	2048.0	2769.1	2.0466	4.6170	6.6636
1	179.9	0.001127	0.1944	761.7	2583.6	762.8	2015.3	2778.1	2.1391	4.4482	6.5873
1.2	188.0	0.001139	0.1633	797.3	2588.8	798.6	1986.2	2784.8	2.2170	4.3072	6.5242
1.4	195.1	0.001149	0.1408	828.7	2592.8	830.3	1959.7	2790.0	2.2847	4.1854	6.4701
1.6	201.4	0.001159	0.1238	856.9	2596.0	858.8	1935.2	2794.0	2.3446	4.0780	6.4226
1.8	207.2	0.001168	0.1104	882.7	2598.4	884.8	1912.3	2797.1	2.3986	3.9816	6.3802
2	212.4	0.001177	0.09963	906.4	2600.3	908.8	1890.7	2799.5	2.4478	3.8939	6.3417
3	233.9	0.001216	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.1	2.6462	3.5416	6.1878
4	250.4	0.001252	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7970	3.2739	6.0709
6	275.6	0.001319	0.03244	1205.4	2589.7	1213.3	1571.0	2784.3	3.0273	2.8627	5.8900
8	295.1	0.001384	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.4	2758.0	3.2075	2.5365	5.7440
9	303.4	0.001418	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.8	2742.1	3.2865	2.3916	5.6781

