REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
MASTER ACADEMIQUE EN GENIE MECANIQUE
OPTION ENERGETIQUE

THEME

Influence des paramètres d'entrée et de sortie sur le fonctionnement de la centrale de CAP DJINET

Promoteur : Mr HAMZAOUI.M **Présenté par : Melle HADDAD Nassima**
Encadré par : Mr BOUDERBALA.R

Promotion 2015-2016

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier le bon DIEU, mon Créateur Qui m'a offert la vie et m'a donné la force pour accomplir ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à mes chers parents pour les sacrifices qu'ils ont faits pour moi afin d'arriver à ce jour-là.

Mes sincères remerciements vont à mon promoteur Mr HAMZAOUI Malek, pour m'avoir proposé ce sujet, pour son aide précieuse et pour sa rigueur dans le travail.

Mes remerciements vont à mon encadreur Mr BOUDERBALA Rachid sans oublier Mr BETROUNI Yacine qui m'ont aidé par leurs conseils et orientations précieuses à l'élaboration de ce travail.

Je tiens aussi à remercier profondément tous ceux qui m'ont aidé à bien bénéficier du stage que j'ai fait au sein de la centrale thermique de CAP DJINET.

Je remercie également les membres de jury :

Mme HADOUCHE.....présidente.

Mr HADIOUCHE.....examinateur.

Qui ont accepté d'examiner et d'estimer ce travail.

En fin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Ce travail est dédié à :

Mes chers **parents** qui ont sacrifié leur modeste vie pour que je puisse étudier.

Mes chers frères : **GHILES** et **TOUFIK.**

Ma chère sœur : **SAMIRA.**

Mes tantes, mes oncles paternelles et maternelles.

Mes chers grands parents.

Mes cousins, cousines et mes petits cousins **AMINE** et **AMEL.**

Mes ami(e)s sans exceptions.

Toute ma promotion.

Tous ceux qui sont chers à moi.

Nassima.

TABLES DES MATIERES

SOMMAIRE

Remerciement ……..……I

Dédicaces ……..II

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : DESCRIPTION ET PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET

I. Définition d'une centrale thermique 3

II. Présentation de la centrale thermique de CAP DJINET [1] 3

Mise en service de la Centrale 3

Puissance installée de la Centrale 4

III. Caractéristiques technique de la Centrale [1] 4

III.1. combustible 4

III.2. Générateur de vapeur (chaudière) 5

- Chambre de combustion 6
- (01) Ballon chaudière (réservoir) 6
- (01) Economiseur 7
- (03) Surchauffeurs et (02) resurchauffeurs 7
- (03) Désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation de la température de vapeur 8
- (08) Brûleurs de combustion mixte gaz/fuel 8
- (02) Ventilateurs de recyclage 9
- (02) Ventilateurs de soufflage 9
- (02) préchauffeurs d'air à vapeur 9
- (01) Réchauffeur rotatif d'air de combustion 9

III.3. Turbine 9

1. Corps BP à basse pression 10
2. Corps MP à moyen pression : 11
3. Corps HP à haute pression : 11

III.3. Les soutirages 12

III.4 12

Eau d'appoint 12

III.5. Le poste d'eau 13
Condenseur 13
Les pompes 14
Les réchauffeurs 15
III.6. Les éjecteurs d'air à vapeur 17
III.7. Eau de réfrigération principale (eau de mer) 17
III.8. Eau de réfrigération secondaire (déminéralisée) 18
III.9. Alternateur 19
III.10. Le transformateur 19
III.11. Salle de commande centralisée 20
III.12.Auxiliaires communs aux quatre tranches 20
VI.. Les circuits principales de la centrales de CAP DJINET [1] 21
VI.1. Circuit des combustibles 21
VI.2. Circuit d'air de combustion 21
VI.3. Circuit de gaz de combustion 22
VI.4. Circuit d'eau et de vapeur 22
Première transformation 23
Deuxième transformation 23
Troisième transformation 23
Quatrième transformation 23
VI.5. Circuit électrique de puissance 23
V. Principe de fonctionnement 23

CHAPITRE II : BILAN ENRGETIQUE DE LA CENTRALE DE CAP DJINET

I. Généralités 27
II. Diagramme utilisé pour l'étude du cycle 28
III. Le bilan énergétique des différents équipements 34
1. Le bilan énergétique de la turbine 34
2. Le bilan thermique du condenseur 36
3. Le bilan énergétique des pompes 37
3. Le bilan thermique des réchauffeurs 38
4. Bilan thermique de la chaudière 40
III. Le rendement global de la centrale 45

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE III : INFLUENCE DES VPARAMETRES D'ENTREE ET DE SORTIE SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE DE CAP DJINET

I. Les paramètres influençant sur le rendement de la centrale de CAP DJINET 46
I.1. Influence de la température de condensation sur le rendement : 46
I.2. influence de la variation de la charge :..... 49
I.3. Influence de la température de l'air ambiant :..... 70
II. Interprétation des résultats :..... 73
II.1. La chaudière :..... 73
II.2. La turbine 73
II.3. Le condenseur 74
II.4. Les pompes 74
II.5. Les réchauffeurs..... 74
III. Amélioration du rendement 74
III.1.Diminution de la température de condensation..... 74
III.2.Augmentation de la pression d'entrée de la turbine :..... 74
III.3.Augmentation de la température maximum de la vapeur 75

Conclusion générale 76

Annexes

Références

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I- 1 : vue prise par google earth pour la centrale de CAP DJINET 4
Figure I- 2 : constituants de la chaudière de CAP DJINET 6
Figure I- 3 : Vue d'un bruleur de l'extérieur et de l'intérieur 8
Figure I- 4 : Rotor du corps BP 10
Figure I- 5 : Rotor du corps MP 11
Figure I- 6 : Rotor du corps HP 11
Figure I- 7 : Les soutirages S6, S5, S4, S3, S2 et S1 des corps HP, MP et BP 12
Figure I- 8 : Vue intérieure du condenseur 14
Figure I- 9 : schéma représentatif de la pompe alimentaire 15
Figure I- 10 : Station de pompage Figure I- 11 : Pompe de circulation 18
Figure I- 12 : canal de rejet 18
Figure I- 13 : alternateur 19
Figure I- 14 : salle de commande 20
Figure I- 15 : circuit d'air de combustion 22
Figure I- 16 : principales transformations d'énergie 24
Figure I- 17 : schéma général de la centrale thermique de CAP DJINET 25
Figure I- 18 : diagramme entropique de la centrale de CAP DJINET [2] 26

CHAPITRE II

Figure II- 1 : diagramme entropique 29
Figure II- 2 : circuit eau-vapeur 30
Figure II- 3 : cycle eau-vapeur plein charge 31
Figure II- 4: shema representatiof des rechauffeurs à BP [1] 38
Figure II- 5 : schéma représentatif des réchauffeurs à HP [1] 39
Figure II- 6: schéma représentatif de la bâche alimentaire 40
Figure II- 7: evolution de la puissance du ventilateur de recyclage en fonction de la charge 44

CHAPITRE III

Figure III- 1: evolution du debit de fonctionnement en fonction de la temperature de condensation 48
Figure III- 2: evolution du rendement de la centrale en fonction de la temperature de condensation 49
Figure III- 3: évolution du débit de soutirage qs6 en fonction du débit en amont qms6 54
Figure III- 4: evolution de qs5 en fonction de qms5 55
Figure III- 5: évolution de qs4 en fonction de qms4 56
Figure III- 6 : évolution de qs3 en fonction de qms3 [1] 57

Figure III- 7: évolution de qs2 en fonction de qms2 58
Figure III- 8: évolution de qs1 en fonction de qms1 59
Figure III- 9: schéma représentatif des différentes fuites de la centrale 60
Figure III- 10: évolution des fuites fd1, fd2, fg1, fg2 du corps HP en fonction de la charge .. 61
Figure III- 11: évolution des fuites fd4, fg4 du corps MP en fonction de la charge 62
Figure III- 12 : évolution du débit d'apport ap1 en fonction de la charge 63
Figure III- 13: évolution du débit d'apport ap3 en fonction de la charge 64
Figure III- 14: puissance totale et travail total de la turbine en fonction de la charge 66
Figure III- 15: évolution de la chaleur cédée par le condenseur en fonction de la charge 67
Figure III- 16: variation du travail et de la puissance de la pompe d'extraction en fonction de la charge 68
Figure III- 17: variation du travail et de la puissance de la pompe alimentaire en fonction de la charge 68
Figure III- 18 : variation de la puissance utile et de la chaleur utile en fonction de la charge. 69
Figure III- 19: variation du rendement de la centrale en fonction de la charge 70
Figure III- 20 : évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de l'air pour un palier de charge de 160MW 71
Figure III- 21: évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de l'air pour un palier de 138MW 72

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I- 1 : caractéristiques physiques et chimiques du gaz naturel 5
Tableau I- 2 : caractéristiques des surchauffeurs et des ressurchauffeurs..... 8
Tableau I- 3 : caractéristiques des réchauffeurs à basse pression [1]..... 16
Tableau I- 4 : caractéristiques des réchauffeurs à haute pression 17

CHAPITRE II

Tableau II- 1 : données du cycle pour 100% de la charge 33
Tableau II- 2 : propriétés des ventilateurs de recyclages et du réchauffeur d'air rotatif 43

CHAPITRE III

Tableau III- 1 : évolution du débit de fonctionnement et dd l'enthalpie sortie turbine en fonction de la température de condensation..... 47
Tableau III- 2 : évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de condensation..... 48
Tableau III- 3 : donnée du cycle pour le regime de 100 %..... 50
Tableau III- 4 : données du cycle pour un régime de 75 %..... 51
Tableau III- 5 : données du cycle pour un régime de 50 %..... 52
Tableau III- 6: débit de soutirage 6 pour différentes charges [1]..... 53
Tableau III- 7 : evolution de qs5 en fonction de qms5 [1]..... 54
Tableau III- 8: évolution de qs4 en fonction de qms4 [1]..... 55
Tableau III- 9 : évolution de qs3 en fonction de qms3 [1]..... 57
Tableau III- 10 : évolution de qs2 en fonction de qms2 [1]..... 58
Tableau III- 11: évolution de qs1 en fonction de qms1 [1]..... 59
Tableau III- 12 : variation des débits de fuite en fonction de la charge [1]..... 61
Tableau III- 13 : la variation des performances en fonction de la charge..... 66
Tableau III- 14: evolution du rendement en fonction de la temperature de l'air pour differents charges..... 71

Nomenclature

symbole	unité	signification
W	KJ/Kg	Travail fournie ou absorbé par l'organe
Q	KJ/Kg	Quantité de chaleur fournie ou absorbé par l'organe
H	KJ	Enthalpie
h	KJ/Kg	Enthalpie massique
Ec	KJ/Kg	Energie cinétique
Ep	KJ/Kg	Energie potentielle
m	/	Fraction du débit
qtot	Kg/s	Débit total de la vapeur
T	°C	Température
P	bars	Pression
X	/	Titre massique
S	KJ/Kg.K	Entropie
HP	/	Haute pression
MP	/	Moyenne pression
BP	/	Basse pression
P	KW ou MW	Puissance
Qbp	KJ/Kg	Chaleur cédée par les réchauffeurs a basse pression
Qhp	KJ/Kg	Chaleur cédée par les réchauffeurs a moyenne pression
Pu	KW	Puissance utile
Qc	KJ/Kg	Quantité de chaleur fournie par la chaudière
Pintr	KW	Puissance introduite
Pc	KW	Puissance du combustible
Pa	KW	Puissance apportée
ṁc	m^3/h	Débit du combustible (gaz naturel)
ṁf	Kg/s	Débit du combustible (fuel)
PCS	KJ/Kg	Pouvoir calorifique supérieur
Prar	KW	Puissance du réchauffeur d'air rotatif
Pvr	KW	Puissance du ventilateur de recyclage
fd	Kg/s	Débit de fuite cote droit
fg	Kg/s	Débit de fuite cote gauche
fa	Kg/s	Apport de débit
ap	Kg/s	Apport de débit
qf	Kg/s	Somme des débits de fuite
qs	Kg/s	Débit de soutirage
qms	Kg/s	Débit en amont de soutirage
ɳ	%	Rendement

Indice

e	Entrée
s	Sortie
pal	Pompe alimentaire
pex	Pompe d'extraction
cond	Condenseur
ch	Chaudière
T	Total
mec	Mécanique
vol	Volumétrique
is	Isentropique
GT	Globale turbine
i	Indiquée
eff	Effective
bâche	Bâche alimentaire

Introduction générale

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire d'une manière efficace et continue.

Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines capables de produire de l'électricité en grande quantité dans des conditions actives de productivité et de rentabilité avec sécurité et fiabilité.

En général il existe cinq types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques.
- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques.
- Les centrales hydro-électriques.
- Les centrales solaires ou photovoltaïques.
- Les centrales éoliennes.

Les trois principaux modes de production de l'électricité en Algérie sont :

- Les centrales à vapeur.
- Les centrales à gaz.
- Les centrales à cycle combiné.

Qui sont affiliées à l'ensemble des centrales à combustibles fossiles.

La centrale thermoélectrique de CAP DJINET est une centrale à vapeur, qui a été construite dans le but de produire de l'énergie électrique à partir d'un circuit fermé comportant un générateur de vapeur, une turbine à vapeur, un condenseur, des pompes et des conduites qui relient ces éléments.

Dans le générateur de vapeur l'énergie thermique obtenue par la combustion d'un combustible (gaz, fuel) est transmise à l'eau et ensuite transformé en énergie mécanique dans la turbine, puis en énergie électrique à l'aide de l'alternateur.

Pour que la centrale puisse assurer une production d'électricité continue avec les moyens les plus économiques, cela exige la connaissance de l'influence de la variation des paramètres thermodynamiques (pression, température, débit…) du fluide moteur qui est la vapeur d'eau, l'influence de la variation de la température de condensation et l'influence de la variation de la température de l'air sur le fonctionnement de la centrale, ceci est l'objet de notre travail.

Pour cela on a proposé un modèle de calcul qui va prendre en considération les grandeurs mesurées à partir de la salle de commande et ce sur la base des hypothèses suivantes :

- Les transformations sont adiabatiques dans la turbine et les pompes.
- Pas de production de travail dans la chaudière.
- Les variations d'énergie cinétique et potentielle sont négligeables et nulles respectivement.

Et cela nous a conduits à adopter le plan de travail suivant :

Le premier chapitre consiste à donner une vue générale sur la centrale de CAP DJINET et les principaux éléments d'une tranche de production d'énergie électrique, ainsi qu'une description du fonctionnement d'un cycle.

Le deuxième chapitre, présentera une analyse énergétique du cycle eau-vapeur avec la formulation des équations utilisées pour le calcul du bilan énergétique de chaque élément du cycle tels que :

- Les travaux, les puissances et les rendements concernant la turbine et ses corps.
- La chaleur cédée à l'eau de refroidissement au niveau du condenseur.
- Les travaux et les puissances des deux types des pompes (extraction et alimentation).
- La chaleur utile et les différentes puissances apportées (puissances des ventilateurs de recyclages et du réchauffeur d'air rotatif) à la chaudière.
- Le rendement du cycle.

Le troisième chapitre est consacré à montrer l'influence de la variation des paramètres d'entrée et de sortie sur le fonctionnement de la centrale de CAP DJINET tels que :

- La variation de la température de condensation.
- La variation de la charge électrique.
- La variation de la température de l'air ambiant.

Le quatrième chapitre est consacré à l'élaboration d'un programme de calcul pour la température de condensation de la vapeur au niveau du condenseur et les équations régissant sur le bilan énergétique de chaque élément du cycle.

I. Définition d'une centrale thermique

Une centrale thermique est un site industriel, destiné à la production d'électricité. Elle transforme des sources d'énergie naturelle en énergie électrique, à partir d'un circuit fermé comportant un générateur de vapeur, une turbine à vapeur, un condenseur, des pompes et des conduites qui relient ces éléments, afin d'alimenter en électricités les consommateurs, particuliers ou industriels. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs.

II. Présentation de la centrale thermique de CAP DJINET [1]

La centrale thermique de Cap-Djinet est située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdes. Elle est implantée sur une superficie de 35 hectares (cf. Figure I.1). Le choix du site revient à :

- La possibilité d'extension
- La proximité des consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Régahaia
- Condition du sous-sol favorable, ne nécessitant pas de fondations profondes

La centrale a été construite par un consortium Austro-Allemand : SIEMENS-KWU-SGP.

- KWU : KRAFTWERK-AG (RFA)
- SGP: SIMMERING GRAZ PAUKER (Autriche).
- SIEMENS (Autriche) qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole (DRAGADOS) à laquelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer.

Les principales entreprises algériennes qui ont participé à la réalisation de la centrale sont les suivantes: ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP.

Mise en service de la Centrale

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

* Groupe 1 : couplage sur réseau le 17/06/1986

* Groupe 2 : couplage sur réseau le 17/09/1986

* Groupe 3 : couplage sur réseau le 29/11/1986

* Groupe 4 : couplage sur réseau le 21/02/1987

Figure I- 1 : vue prise par google earth pour la centrale de CAP DJINET

Puissance installée de la Centrale

La Centrale de Cap-Djinet se compose de 4 tranches de type thermique vapeur d'une puissance unitaire de 176 MW Borne alternateur (BA). La puissance totale installée est de 704 MW borne alternateur (BA). La puissance fournie au réseau est de 672 MW borne usine (BU). La consommation totale des auxiliaires des 4 tranches et des auxiliaires communs est d'environ 32 MW.

III. Caractéristiques technique de la Centrale [1]

III.1. combustible

Le combustible utilisé pour les chaudières est : le gaz naturel de HASSI R'MEL acheminé par gazoduc. Le débit nécessaire pour assurer la pleine charge des 4 groupes est de 160 000 m3/h. Le secours est assuré par du fuel (oïl domestique) stocké dans deux (02) réservoirs de 10.000 m3 chacun.

La consommation du gaz pour chaque groupe est :

- En marche au gaz : Q = 40.000 m^3/h
- En marche au fuel : P = 42 m^3/h

- **Caractéristiques physiques et chimiques du gaz naturel**

Le tableau ci-dessous représente les composants et les caractéristiques du gaz naturel

Constituants	symbole	% molaire	H (g/mole)	C (g/mole)	N (g/mole)	O (g/mole)	Cp (Kcal/Kg.K)
azote	N2	3.4	-	-	95.2544	-	0.2478
Dioxyde de Carbone	CO2	1.03	-	12.3703	-	32.97	0.1989
Méthane	CH4	84.27	339.77664	1012.0827	-	-	0.5265
Ethane	C2H6	8.8	53.2224	211.376	-	-	0.4095
Propane	C3H8	1.74	14.03136	62.6922	-	-	0.3879
i butane	iC4H10	0.21	2.1168	10.0884	-	-	0.3868
n butanes	nC4H10	0.35	3.528	16.814	-	-	0.3965
i pentane	iC5H12	0.07	0.84224	4.2035	-	-	0.3875
n pentanes	nC5H12	0.08	0.96768	4.804	-	-	0.3967
Nescane	C6H12	0.05	0.7056	3.603	-	-	0.4000
	Total	100%	415.1906	1338.034	95.254	32.97	-

Tableau I- 1 : caractéristiques physiques et chimiques du gaz naturel

III.2. Générateur de vapeur (chaudière)

Le terme chaudière est couramment utilisé dans la profession bien qu'il serait plus exacte de parler générateur de vapeur, dénommé parfois groupe évaporatoire, terme plus général qui prend en compte tous les composants : économiseur, réchauffeur d'air, surchauffeurs, ressurchauffeurs...etc.

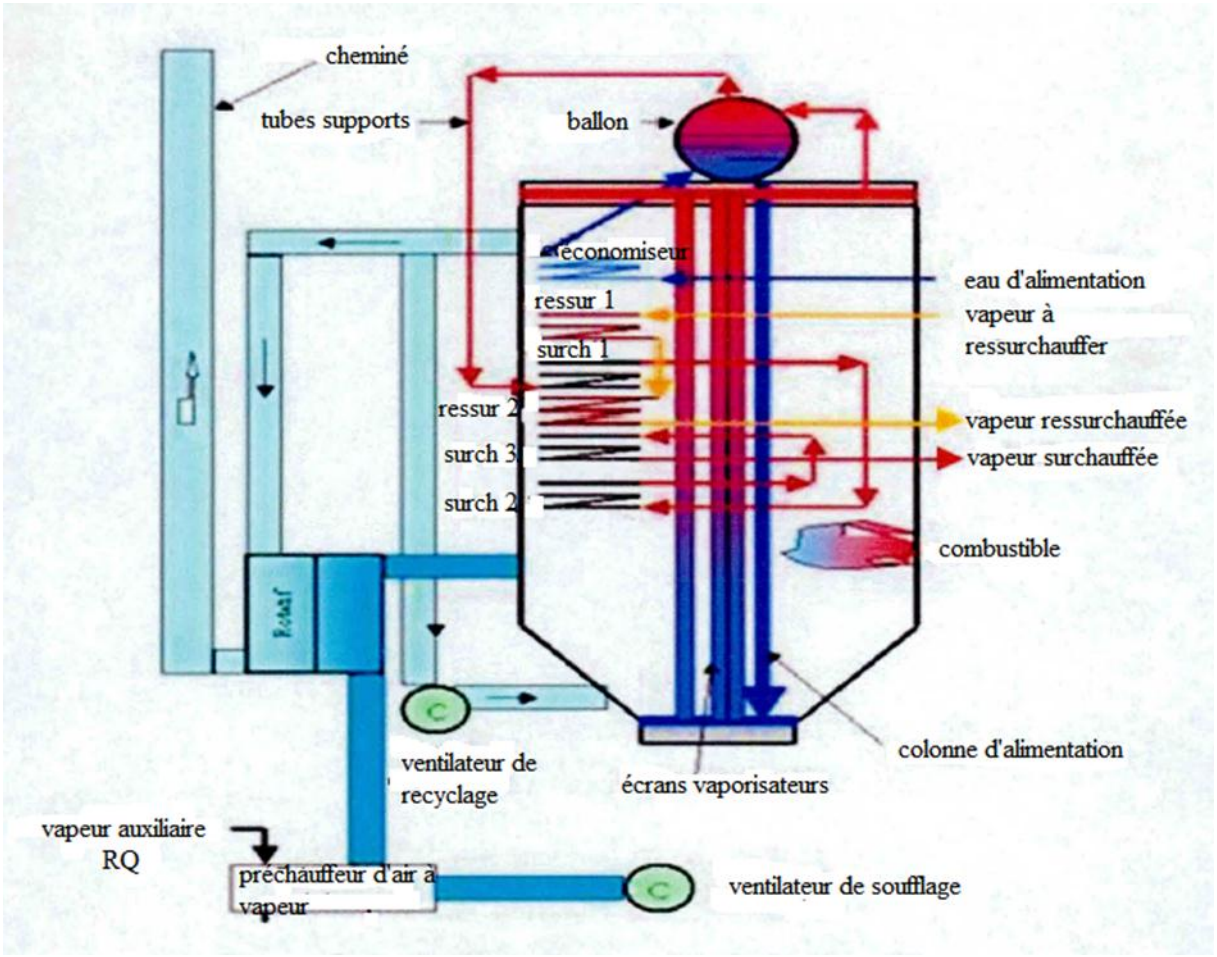


Figure I- 2 : constituants de la chaudière de CAP DJINET

Le générateur de vapeur (chaudière) a pour rôle de transformer l'eau en vapeur à haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur. La chaudière de la centrale de CAP DJINET est de type « circulation naturelle ».

Elle se décompose en plusieurs organes

- Chambre de combustion

Formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisateurs) et (04) Colonnes de descentes :

Les tubes écrans constituant les parois de la chambre de combustion, sont alimentés à leur partie inférieure par quatre colonnes dites de descente. La chaleur reçue par ces tubes, essentiellement par rayonnements, est transmise à l'eau en vue de sa vaporisation.

- (01) Ballon chaudière (réservoir)

C'est un réservoir placé au-dessus de la chambre de la combustion, qui renferme de l'eau à l'état liquide provenant de l'économiseur alimentant les tubes écrans vaporisateurs et de l'eau à l'état vapeur provenant des tubes écrans pour l'alimentation des surchauffeurs.

Ses caractéristiques sont [1]

- Pression de service……160 bar

- Température …….347 ^{o}C
- Volume d'eau……26.3m³
- Longueur total……...1300 mm

- (01) Economiseur

C'est un échangeur de chaleur ; constitué d'un serpentin en fin de parcours des gaz de combustion, l'eau en provenance du poste de réchauffage, alimente les soutirages de la turbine, se réchauffe dans l'économiseur avant son introduction dans le ballon, à une température inférieure à celle d'ébullition.

Ses caractéristiques sont [1]

- Surface d'échange…….....2080 m²
- Volume d'eau…….10.5 m³
- Pression d'entrée ……..…….……164.4 bar
- Température d'entrée…….246.3^{o} C
- Débit d'eau d'alimentation……523 t/h
- Débit des fumées traversant l'économiseur……...550 t/h

- (03) Surchauffeurs et (02) resurchauffeurs

Les surchauffeurs, au nombre de trois (primaire, secondaire et tertiaire), permettant grâce à la récupération de la chaleur sensible des fumées provenant du foyer, d'élever la température de la vapeur au-delà du point de saturation pour atteindre la valeur de 540°C, et ce, afin d'éliminer l'humidité contenue dans cette vapeur et donc d'améliorer le rendement de la turbine et ainsi diminuer la consommation du combustible.

Les caractéristiques des surchauffeurs et des resurchauffeurs [1]

Surchauffeurs primaires	
Timbre	172 bars
Pression de service	160 bars
Surface de chauffe	1565 m^2
Température de sortie	427 °C
Surchauffeurs secondaires	
Timbre	172 bars
Pression de service	150 bars
Surface de chauffe	581 m^2
Température de sortie	485 °C

Surchauffeurs finals	
Timbre	172 bars
Pression de service	145.6 bars
Surface de chauffe	538 m^2
Température de sortie	540°C
Ressurchauffeurs primaires	
Timbre	48 bars
Pression de service	39 bars
Surface de chauffe	929 m^2
Volume d'eau	18.96 m^3
Ressurchauffeurs secondaires	
Timbre	48 bars
Pression de service	37 bars
Surface de chauffe	929 m^2
Volume d'eau	10.11 m^3
Température de sortie	540 °C

Tableau I- 2 : caractéristiques des surchauffeurs et des ressurchauffeurs

- **(03) Désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation de la température de vapeur**

Une partie de l'eau d'alimentation est déviée avant son entrée dans l'économiseur dans un circuit annexe et elle sera injectée dans la vapeur surchauffée à un étage intermédiaire de surchauffe.

Elle sert au réglage de la température de vapeur à la sortie du dernier surchauffeur.

L'injection de cette eau de désurchauffe dans la vapeur se fait par pulvérisation dans un mélange appelé désurchauffeur.

- **(08) Brûleurs de combustion mixte gaz/fuel**

Le générateur de vapeur est équipé de huit brûleurs fonctionnent au gaz naturel ou au fuel léger. Ils sont disposés sur quatre étages de la face avant de la chaudière.

Figure I- 3 : Vue d'un bruleur de l'extérieur et de l'intérieur

- (02) Ventilateurs de recyclage

Ils ont pour rôle de recycler, en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la T° à la sortie du resurchauffeur.

- (02) Ventilateurs de soufflage

Ils ont pour rôle de fournir l'air de combustion nécessaire au générateur de vapeur.

- (02) préchauffeurs d'air à vapeur

Ils servent à augmenter la température d'air de combustion à environ 85°C qui est nécessaire au générateur de vapeur.

- (01) Réchauffeur rotatif d'air de combustion

Il sert à réchauffer l'air de combustion à environ 350°C par récupération de chaleur des fumées.

Les générateurs de vapeur sont de type à circulation naturelle (Circulation naturelle de l'eau et de la vapeur, l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau).

Caractéristiques du générateur de vapeur [1]

- Capacité de vaporisation maximale : 523 t/h.

- Pression de service : 160 bars.

- Température de la vapeur : 540 °C

III.3. Turbine

La turbine 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 entraîner l'alternateur. La turbine set composée de 03 corps, haute pression (HP), moyen pression (MP) et à basse pression (BP). Elle comporte 06 soutirages qui alimentent 03rechauffeurs à BP, 02 soutirages à MP et 01 soutirage à HP. Le rotor de la turbine est accouplé avec l'alternateur.

Caractéristiques de la turbine [1]

- Longueur : 16,125 m
- Largeur : 13 m
- Poids : 500*103 Kg
- Puissances : 176 MW
- Pression : 138,2 bars
- Température de la vapeur à l'entrée : 535 °C
- Vitesse de rotation : 3000 tr/m.

La turbine se compose de 03 corps

1. Corps BP à basse pression

Une turbine à vapeur comporte un ou plusieurs étages, composés chacun de deux aubages, ou grilles d'aubes, dont l'un est fixe et l'autre est mobile (cf. Figure N° : I-4, Figure N° : I-5, Figure N° : I-6)

Figure I- 4 : Rotor du corps BP

Caractéristiques du corps BP [1]

- Corps : à double flux
- Nombre d'étage : 2*8
- Pression d'admission : 5.5 bars
- Température d'admission de la vapeur : 282 ^{o}C
- Débit de vapeur : 406 t/h
- Hauteur de l'ailette du dernier étage : 676. 3mm
- Poids du corps BP équipé : 138.10^{3} Kg

2. Corps MP à moyen pression :

Figure I- 5 : Rotor du corps MP

Caractéristiques du corps MP [1]

- Corps : à double flux
- Nombre d'étage : 2*19 (à réaction)
- Pression d'admission : 35.9 bars
- Température d'admission de la vapeur : 535^{o}C
- Débit de vapeur : 467.9 t/h.

3. Corps HP à haute pression :

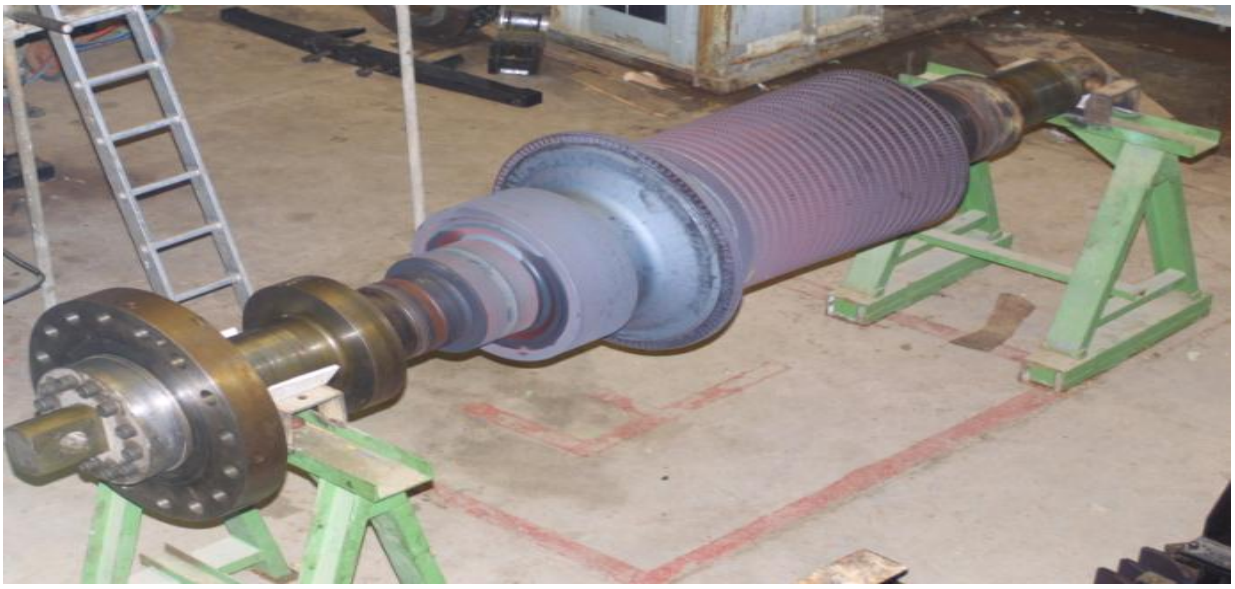


Figure I- 6 : Rotor du corps HP

Caractéristiques du corps HP [1]

- Corps : à simple flux
- Débit de vapeur : 532 t/h
- Pression de vapeur : 138 bars
- Température de vapeur : 535 °C
- Nombre d'étages : 24 (01 à action et 23 à réaction)

III.3. Les soutirages

Nombre de soutirages de vapeur 06 (cf. Figure I-7)

- 03 soutirages provenant du corps BP pour alimenter les 03 réchauffeurs à BP
- 02 soutirages provenant du corps MP pour alimenter le dégazeur de la bâche alimentaire et le réchauffeur à MP.
- 01 soutirage provenant du corps HP pour alimenter le réchauffeur à HP.

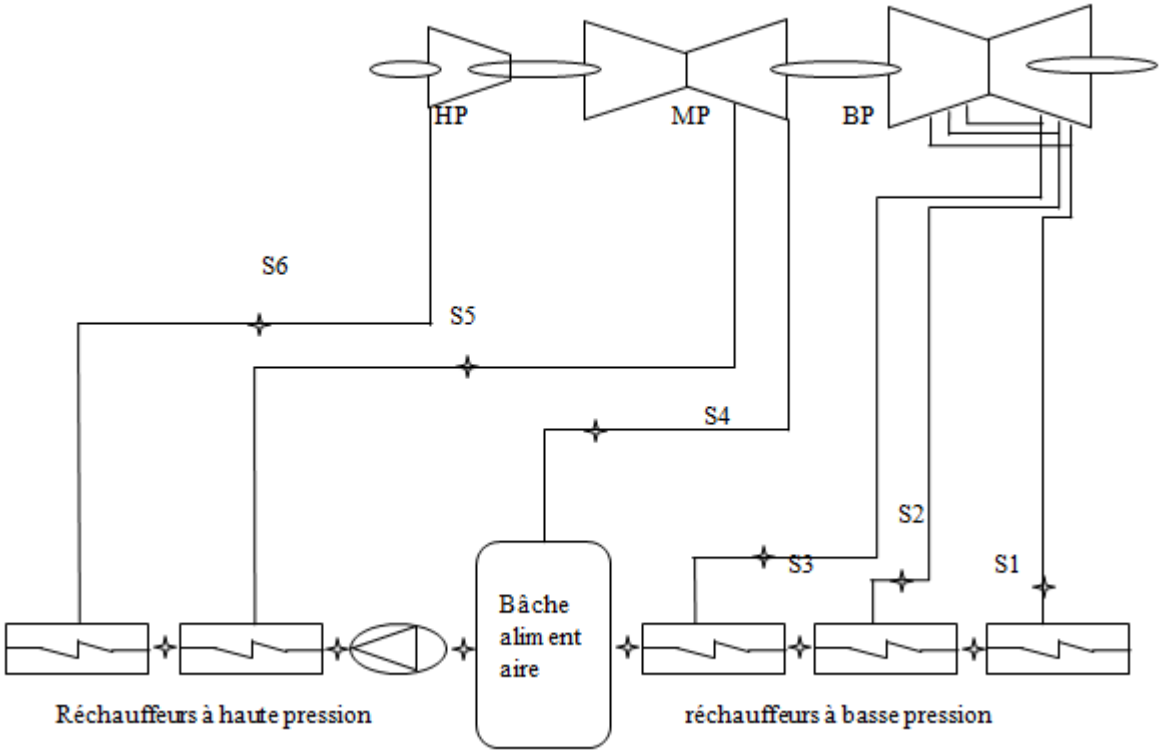


Figure I- 7 : Les soutirages S6, S5, S4, S3, S2 et S1 des corps HP, MP et BP

III.4. Eau d'appoint

Elle a pour but de compenser les pertes du circuit principal eau-vapeur; le débit d'appoint est d'environ 1 % du débit principal. L'eau d'appoint doit être filtrée, déminéralisée, distillée puis dégazée; ce traitement a pour but d'éviter les dégâts dans les faisceaux tubulaires et de limiter leur oxydation ou autre attaque chimique

III.5. Le poste d'eau

Le poste d'eau est l'ensemble des équipements qui préchauffe l'eau et la transfère du condenseur jusqu'à la chaudière en passant par la bâche alimentaire (dégazeur).

Condenseur

C'est un échangeur de chaleur par surface. Il est placé sous le corps BP de la turbine, l'échange de chaleur est de type fluides séparés à faisceaux tubulaires. Il a pour rôle :

- D'assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuée du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de refroidissement de mer dans les tubes en titane.
- D'augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression atmosphérique, afin d'obtenir un rendement de la turbine aussi élevée que possible.
- De dégazer le condensat et d'évacuer les incondensables (en majorité de l'air)
- De recevoir également le condensat des réchauffeurs (BP)
- De recevoir les différentes purges de la vapeur de contournement (by-pass BP).

Ses caractéristiques sont [1]

- Débit de vapeur : 98.25 Kg/s
- Débit d'eau de refroidissement : 6500 Kg/s
- Pression du condenseur : 0.05 bars
- Capacité du puits entrée/sortie : eau de mer 6 à 8 °C
- Nombre de tube : 14848 tubes
- Surface d'échange : 10101 m^2
- Diamètre extérieur des tubes : 19 mm
- Diamètre intérieur des tubes : 17.6 mm
- Longueur des tubes : 11490 mm
- Hauteur de la boite à eau : 2600 mm
- Matériau des tubes : titanes
- La vitesse de l'eau à l'intérieur des tubes : 1.8m/s.

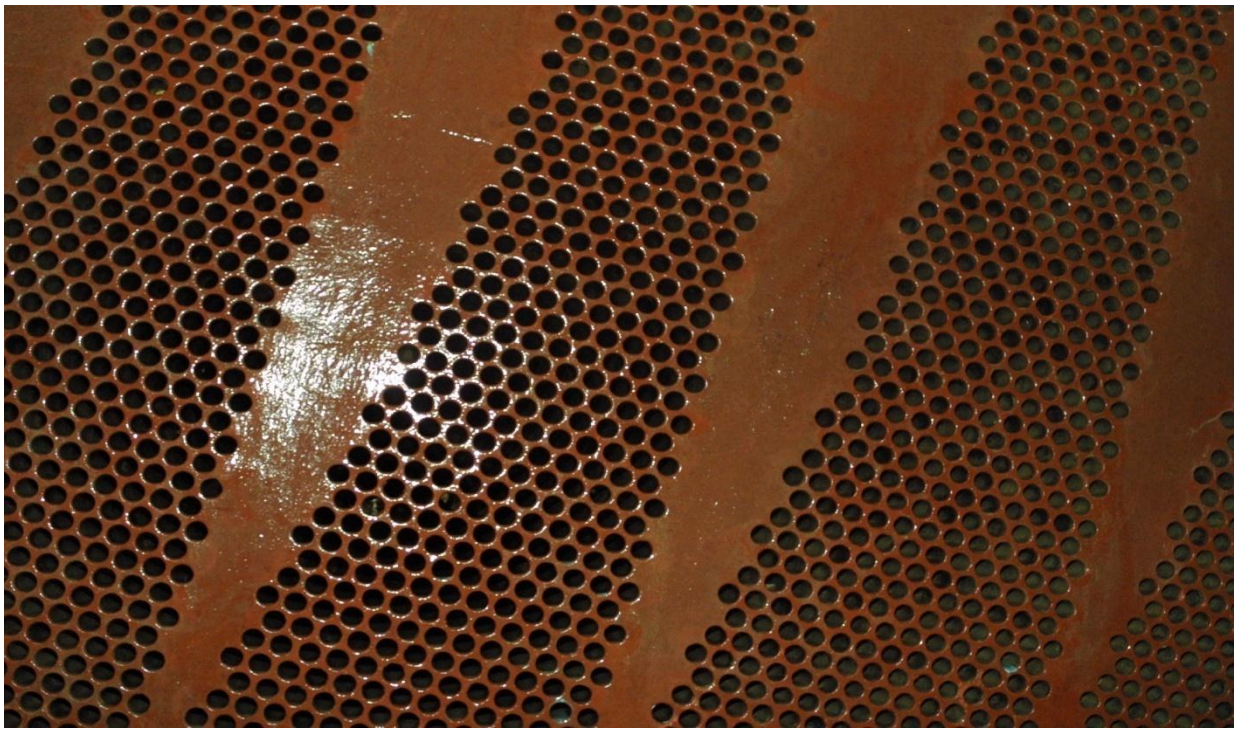


Figure I- 8 : Vue intérieure du condenseur

Les pompes

Il existe dans la centrale de CAP DJINET (02) types de pompes : (02) pompes d'extractions et (03) pompes d'alimentation.

Les pompes d'extraction

Assurent le transfert de l'eau du puits du condenseur jusqu'à la bâche alimentaire en passant par les trois (03) réchauffeurs BP (le débit nominale d'une pompe d'extraction est 414 m3/h).

Les pompes d'alimentations

Elles ont pour rôle d'aspirer de l'eau de la bâche alimentaire pour la refouler dans le réservoir de la chaudière en traversant les réchauffeurs à moyenne (MP) et à haute pression (HP) et l'économiseur du générateur de vapeur.

On distingue deux types de pompes :

- **Trois (03) pompes nourricières**

Ce sont de type centrifuge à un étage, elles servent à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 4,9 bars jusqu'à 11 bars avec un débit de 261,6 t/h.

- **Trois (03) pompes principales**

Ce sont de type centrifuge radial à 06 étages, elles sont placées en aval des pompes nourricières servant à augmenter la pression de l'eau de 11 bars jusqu'à 177 bars.

Pour chaque groupe, on trouve trois (03) pompes nourricières liées à trois (03) pompes principales, seulement deux d'entre elles sont suffisantes pour un fonctionnement normal.

Chaque groupe de pompes d'eau d'alimentation est commandé par un moteur commun d'une tension de 6,3 KV et une puissance de 300 KW.

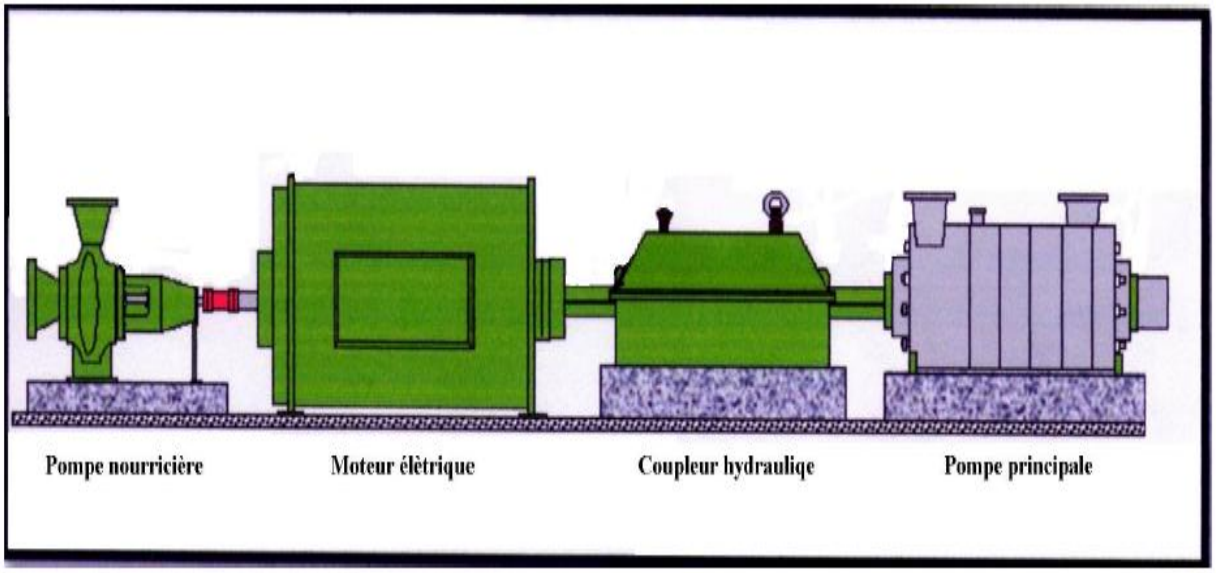


Figure I- 9 : schéma représentatif de la pompe alimentaire

Les réchauffeurs

Dans la centrale de CAP DJINET on trouve trois (03) types de réchauffeurs : 03 à basse pression, 02 à moyenne pression et 01 à haute pression.

Les réchauffeurs à basse pression (BP)

Ce sont des échangeurs de chaleur par surface qui utilisent la vapeur soutirée du corps BP (03 soutirages) pour préchauffer le condensat lors de son acheminement vers la bâche alimentaire. On distingue 03 réchauffeurs à basse pression, chaque soutirage alimente un réchauffeur

Réchauffeurs BP1		
	Cotés tubes	Coté enveloppe
Fluide	condensât	Vapeur soutirée
Température	40.3°C	60 °C
Pression	8.3716 bars	0.1582
Dimension		
Longueur	7400 mm	
Diamètre de l'enveloppe	900 mm	
Surface d'échange	252 m^2	

Réchauffeurs BP2		
	Cotés tubes	Coté enveloppe
Fluide	condensât	Vapeur soutirée
Température	52.1°C	60 °C
Pression	7.8813 bars	0.636 bar
Dimension		
Longueur	10000 mm	
Diamètre de l'enveloppe	900 mm	
Surface d'échange	372 m^2	
Réchauffeurs BP3		
	Cotés tubes	Coté enveloppe
Fluide	condensât	Vapeur soutirée
Température	84.5 °C	172.9 °C
Pression	7.391 bars	1.7684 bar
Dimension		
Longueur	8900 mm	
Diamètre de l'enveloppe	900 mm	
Surface d'échange	287 m^2	

Tableau I- 3 : caractéristiques des réchauffeurs à basse pression [1]

La bâche alimentaire

L'eau sortant des réchauffeurs à BP se conduit vers la bâche alimentaire, cette dernière joue le rôle d'un échangeur par mélange (réchauffeur), l'eau est alors chauffée par le soutirage S4 du corps à moyenne pression la turbine.

Le niveau de l'eau et de la vapeur reste constant pendant le fonctionnement du groupe. La bâche alimentaire est appelée aussi « la bâche dégazant » parce qu'elle dégage les gaz étrangers incondensables vers l'atmosphère avec deux tuyauteries d'évacuation.

Les caractéristiques de la bâche alimentaire sont [1]

- Volume total : 163 m^3
- Diamètre de l'enveloppe : 3.6 m
- Longueur de la bâche : 16.5 m
- A la sortie de la bâche : T= 151°C
  P= 4.9 bars
- Débit : 145.34 Kg/s (cas de la plein charge)

Les réchauffeurs à haute pression (HP)

Ce sont des échangeurs de chaleur par surface servent à réchauffer l'eau d'alimentation qui est pompée de la bâche vers la chaudière en utilisant des soutirages de vapeur (02 soutirages), l'un du corps MP et l'autre du corps HP de la turbine.

Réchauffeurs HP5		
	Cotés tubes	Coté enveloppe
Fluide	condensât	Vapeur soutirée
Température	154.3 °C	423.1 °C
Pression	177 bars	15.682 bars
Dimension		
Longueur	8600 mm	
Diamètre de l'enveloppe	1656 mm	
Surface d'échange	492 m^2	
Réchauffeurs HP6		
	Cotés tubes	Coté enveloppe
Fluide	condensât	Vapeur soutirée
Température	200.4 °C	356.4 °C
Pression	176.02 bars	38 bars
Dimension		
Longueur	8800 mm	
Diamètre de l'enveloppe	1700 mm	
Surface d'échange	557 m^2	

Tableau I- 4 : caractéristiques des réchauffeurs à haute pression

III.6. Les éjecteurs d'air à vapeur

Ils ont pour fonction d'extraire les incondensables du condenseur pour augmenter le vide. Il existe deux (02) éjecteurs de démarrage (2*50%)et deux (02) unités d'éjection de services (2*100%). Lors de démarrage, le condenseur est mis sous vide à l'aide des éjecteurs de démarrage et pendant le service le vide est maintenu par les unités d'éjection de service. La vapeur d'alimentation des éjecteurs provient du circuit de vapeur auxiliaire (350Kg/h pour chaque unité d'éjection, pression d'environ 5bar). Chaque unité d'éjection de service comporte deux (02) étages, le premier étage extrait un mélange de gaz et de vapeur du condenseur de la turbine et le comprime à quelque 0.25 bar absolue, le deuxième étage aspire du gaz du condenseur intermédiaire, le comprime à la pression atmosphérique et le rejette à l'air libre par le biais du condenseur final. Les condensats ainsi formés sont conduits au condenseur de la turbine. L'eau de refroidissement utilisée est celle provenant du circuit d'extraction.

III.7. Eau de réfrigération principale (eau de mer)

Pour condenser la vapeur, il faut refroidir et abaisser sa pression, ces deux opérations s'effectuent dans le condenseur .Le refroidissement est assurer par l'eau froide (eau de mer) circulant dans un circuit indépendant de circuit eau-vapeur.

La prise d'eau de réfrigération se situe en mer à 900 m de la station de pompage et de filtration. L'eau arrive par trois (03) conduites d'amenée d'eau de mer, en béton de diamètre intérieure / extérieure (2,70 m / 3,00 m).

- **Constitution de la station de pompage**

- Une grille à grappin, pour éliminer les gros déchets.
- Un tambour filtrant, à mailles fines, pour éliminer les petits déchets.
- Deux (02) pompes de circulation d'eau de mer de 12 000 m3/h chacune, qui refoulent l'eau de mer jusqu'au condenseur.

Figure I- 10 : Station de pompage

Figure I- 11 : Pompe de circulation

Après traversée du condenseur, l'eau de réfrigération est rejetée vers le canal de rejet qui aboutit à la mer.

Figure I- 12 : canal de rejet

III.8. Eau de réfrigération secondaire (déminéralisée)

C'est l'eau déminéralisée stockée dans une bâche de 5 m^3 circulant en circuit fermé. Il sert au refroidissement de certaines organes tel que : les huiles de graissage de la pompe alimentaire, huile de graissage de la turbine, huile de graissage du compresseur d'air, huile de graissage de réchauffeur rotatif...Etc.

III.9. Alternateur

Il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique. Il est refroidi par de l'hydrogène circulant en circuit fermé, qui présente des avantages par rapport à l'air. Parmi ces avantages : une conductibilité thermique très élevée, une densité faible ce qui permet de réduire les pertes de chaleur lors de sa ventilation.

Ainsi la chaleur dégagée par l'alternateur est récupérée par l'eau d'alimentation.

Les caractéristiques principales de l'alternateur sont [1]

- Tension nominale : 15.5 KV
- Puissance apparente : 220 MVA
- Puissance active : 176 MW
- cos ψ : 0.8
- Excitation : à diodes tournantes
- Poids du stator complet : 198 tonnes
- Poids du rotor seul : 36.7 tonnes.

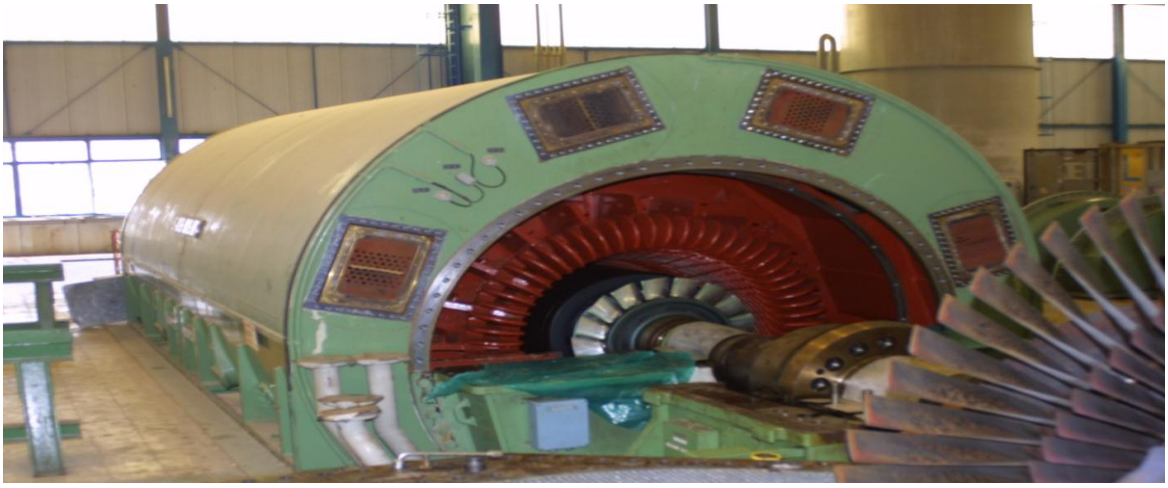


Figure I- 13 : alternateur

III.10. Le transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

Vu que la tension au niveau de l'alternateur est faible, le courant électrique est très important, il est nécessaire de réduire les pertes par effet Joule en passant par un transformateur de tension. Dans le cas présent on utilise un transformateur de 15,5 KV à 220 KV, et une puissance de 220 MW à travers un disjoncteur coupleur. Le refroidissement du transformateur se fait par une circulation forcée d'huile en circuit fermé qui est lui-même refroidie par l'air.

III.11. Salle de commande centralisée

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande.

La salle de commande pour chaque paire de tranche comprend :

- deux (02) pupitres de conduites,
- deux (02) tableaux verticaux où 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.

Figure I- 14 : salle de commande

III.12.Auxiliaires communs aux quatre tranches

Une station de production d'hydrogène

Sert à produire l'hydrogène nécessaire au refroidissement des 4 alternateurs de la centrale.

Un poste de détente gaz

Composé de deux (02) lignes de filtration gaz, et trois (03) lignes de régulation pour la détente gaz de 60 à 6 bars.

Un poste de dépotage et transfert fuel

Deux (02) bâches de stockage de fuel de capacité : 2 x 10 000 m3.

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.

Description détaillé

- Quatre (04) unités de dessalement produisant 500 m3/j, chacune assurent la production en eau dessalée, stockée dans deux (02) bâches (2 x 2700 m3)
- Type de l'installation : Multi-flash, c'est-à-dire à évaporation successives sur (18) étages de l'évaporateur

- Trois (03) produits chimiques sont injectés pour le traitement de l'eau qui est les suivants :
  - **Le belgard EVN** : utilisé pour éviter l'entartrage.
  - **La belette** : Produit anti-mousse utilisé pour éviter la formation de la mousse au niveau des évaporateurs.
  - **Le bisulfite de sodium (NA2SO3)** : produit permettant l'élimination du chlore dans l'eau pour diminuer la conductivité.

Pour une production de 20 m^3 d'eau dessalée, on consomme 240 m^3 d'eau de mer.

Station de déminéralisation

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

Les lits mélangés sont un mélange de résines cationique et anionique. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux (02) réservoirs de 1500 m3 chacun.

Station d'électro-chloration (DENORA/Italie)

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 m^3/h d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

VI.. Les circuits principales de la centrales de CAP DJINET [1]

VI.1. Circuit des combustibles

Le gaz naturel parvient à la station détente de gaz par pipe enterrée. Quatre tubes distribuent ce gaz aux chaudières de chaque tranche; autres tubes conduisent ce gaz aux autres consommateurs comme dessalement, la cuisine, etc.

Il faut que le fuel ne servît de combustible qu'en cas de régime de secours. Il vient des raffineries par camions; il est déposé et stocké dans deux réservoirs de 10.000 m3 chacun. La distribution de fuel aux chaudières et aux autres consommateurs se déroule comme celle du gaz.

VI.2. Circuit d'air de combustion

L'air est prélevé de l'atmosphère et mis en vitesse par les ventilateurs de soufflage ; il est d'abord réchauffé vers 85°C par la vapeur auxiliaire dans le préchauffeur d'air à vapeur et par les gaz de combustion (fumée) dans le réchauffeur d'air rotatif.

Cet air réchauffé va aux brûleurs en fournissant l'appoint d'oxygène nécessaire à la combustion.

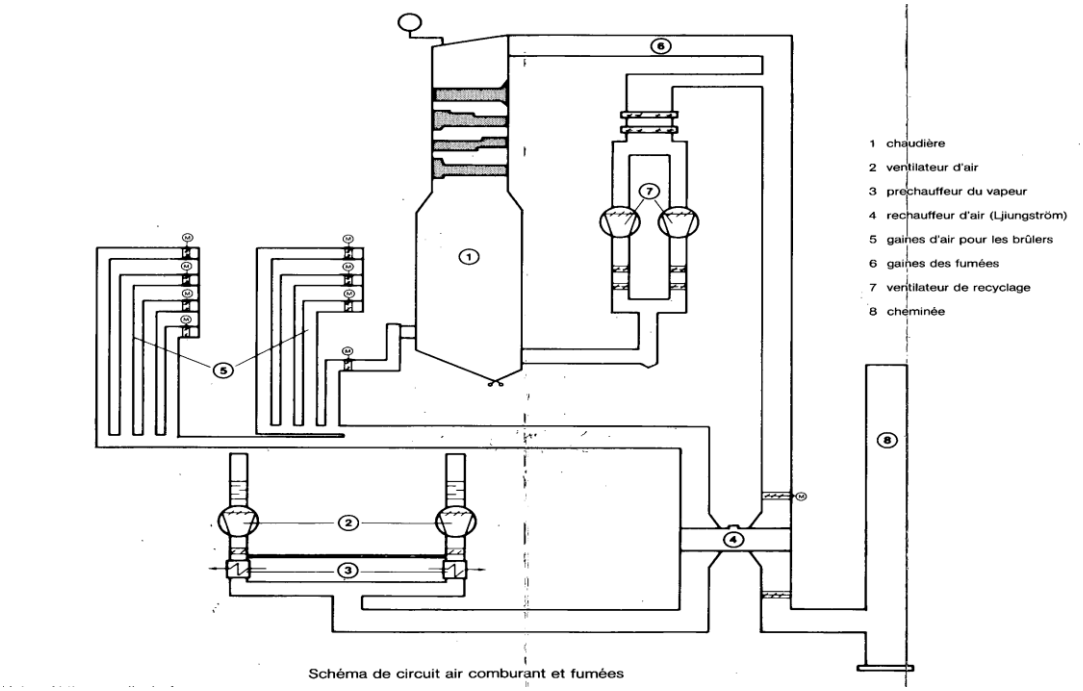


Figure I- 15 : circuit d'air de combustion

VI.3. Circuit de gaz de combustion

Ce circuit résulte de la réunion des deux circuits précédents à partir de la sortie des brûleurs; il est tracé de telle sorte que, d'une part, les gaz brûlés trouvent continuellement des parois à chauffer afin de provoquer des échanges de chaleur, et que, d'autre part, le fluide qui se trouve derrière la paroi ait des besoins croissants en chaleur à mesure que les fumées se refroidissent.

Aussitôt après la combustion, les gaz chauffent d'abord les parois de vaporisation qui entourent complètement la chambre de combustion; puis ils chauffent les surchauffeurs et en parallèle les resurchauffeurs…

Bien que déjà fortement refroidies, les fumées sont encore à près de 500 °C; elles peuvent donc fournir un supplément de chaleur à l'eau comprimée, dans l'économiseur, puis à l'air de combustion dans le réchauffeur d'air rotatif.

Il faut qu'une partie des fumées soit recyclée à la chambre de combustion pour régler la température de la vapeur resurchauffée.

VI.4. Circuit d'eau et de vapeur

C'est le circuit principal et tous les autres gravitent autour de lui et ils sont à son service; c'est dans ce circuit que se réalise le cycle de Rankine.

Première transformation

L'eau froide (32 °C, 0.05 bar) est prise du condenseur à partir de 02 pompes d'extraction qui fonctionnent à 100% .Cette eau est conduite directement dans la bâche alimentaire ou elle sera comprimée successivement par les pompes basse pression (pompes nourricières 10 bars) et à haute pression par les pompes alimentaires (177 bar) et elle est réchauffée par les réchauffeurs BP et HP au moyen de vapeur de soutirage; elle passe enfin à l'économiseur où les gaz de combustion (fumée) élèvent encore sa température, avant son introduction dans la chaudière. Au début de la transformation l'eau était à 32 °C et à la pression absolue de 0,05 bars, à la fin, elle est à 285 °C et à 160 bars environ.

Deuxième transformation

Elle s'effectue dans la chaudière. L'eau chaude comprimée arrive au réservoir supérieur (ballon chaudière) ; elle parcourt les parois tubulaires qui tapissent la chambre de combustion; à travers ces tubes, les gaz de combustion, qui sont à 1.300 °C, fournissent à l'eau d'abord un complément de chaleur pour l'amener à la température d'ébullition, puis la chaleur de vaporisation. A la partie supérieure du réservoir, on recueille de la vapeur saturée humide; celle-ci est dirigée sur trois faisceaux tubulaires en série: la vapeur se sèche dans le premier; la surchauffe s'effectue dans les faisceaux suivants. Pendant cette transformation, la pression ne change pas 160 bars, tandis que la température atteint son maximum qui est 540 °C.

Troisième transformation

La vapeur surchauffée arrive à la partie H.P. de la turbine, ou elle se détend à 40 bars et la température se diminue à 357 °C; elle fournit donc un premier travail moteur, puis elle retourne dans le foyer ou elle circule dans le faisceau tubulaire de resurchauffe; la pression ne varie guère, mais la température atteint pour la deuxième fois son maximum de 540 °C. La vapeur revient à la turbine, se détend et se refroidit dans les étages M.P. et B.P., en fournissant à nouveau un travail moteur.

Quatrième transformation

Elle s'effectue dans le condenseur; la condensation de la vapeur s'effectue sous vide (0,05 bars), à la température de 33°C environ. L'eau recueillie est froide; elle recommence alors son cycle.

VI.5. Circuit électrique de puissance

L'importance de la partie thermique ne doit pas faire oublier qu'elle n'a finalement qu'un but: entraîner à 3000tr/min le rotor de l'alternateur; les circuits thermiques se prolongent en quelque sorte par les circuits électriques de puissance; ceux-ci comprennent l'alternateur, le transformateur principal et l'appareillage T.H.T. permettant d'acheminer l'énergie électrique vers les jeux de barres du poste de départ. Cette simplicité apparente des circuits de puissance ne doit pas faire oublier leur importance.

V. Principe de fonctionnement

Il est basé sur la transformation d'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique

et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquide et vapeur.

En gros, on a trois transformations principales

- Transformation de **l'énergie chimique** issue du combustible en énergie calorifique (dans un générateur de vapeur), qui est la chaleur nécessaire à la vaporisation et à l'augmentation de la température de l'eau.
- **L'énergie calorifique** obtenue est transmise principalement à l'eau sous formes liquide et vapeurs (saturée et surchauffée). La transformation de cette énergie en énergie mécaniques s'opère dans une turbine à vapeur.
- **L'énergie mécanique** résultant de la deuxième transformation est transmise directement à l'alternateur à travers un accouplement pour la transformer en énergie électrique.

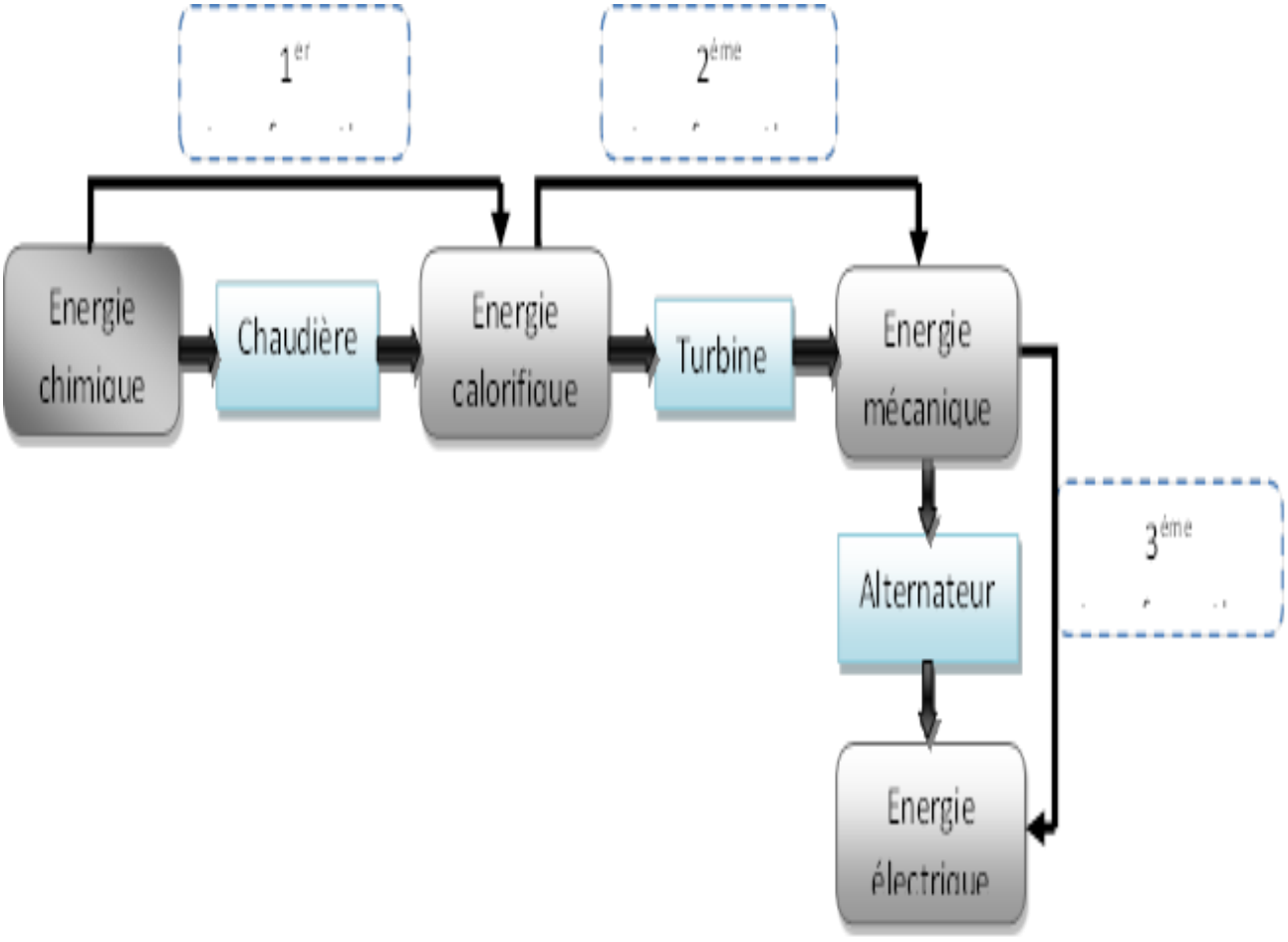


Figure I- 16 : principales transformations d'énergie

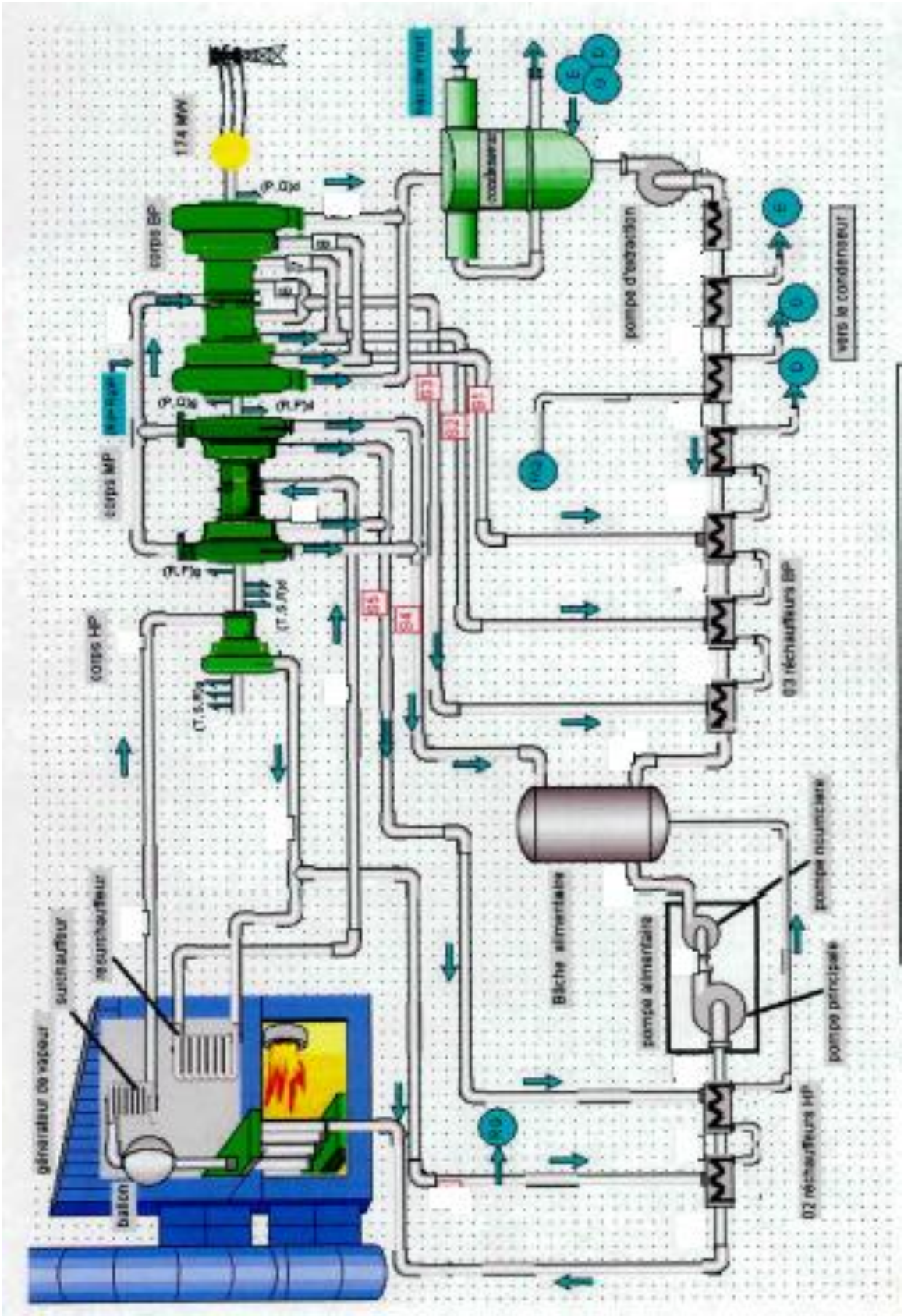


Figure I- 17 : schéma général de la centrale thermique de CAP DJINET

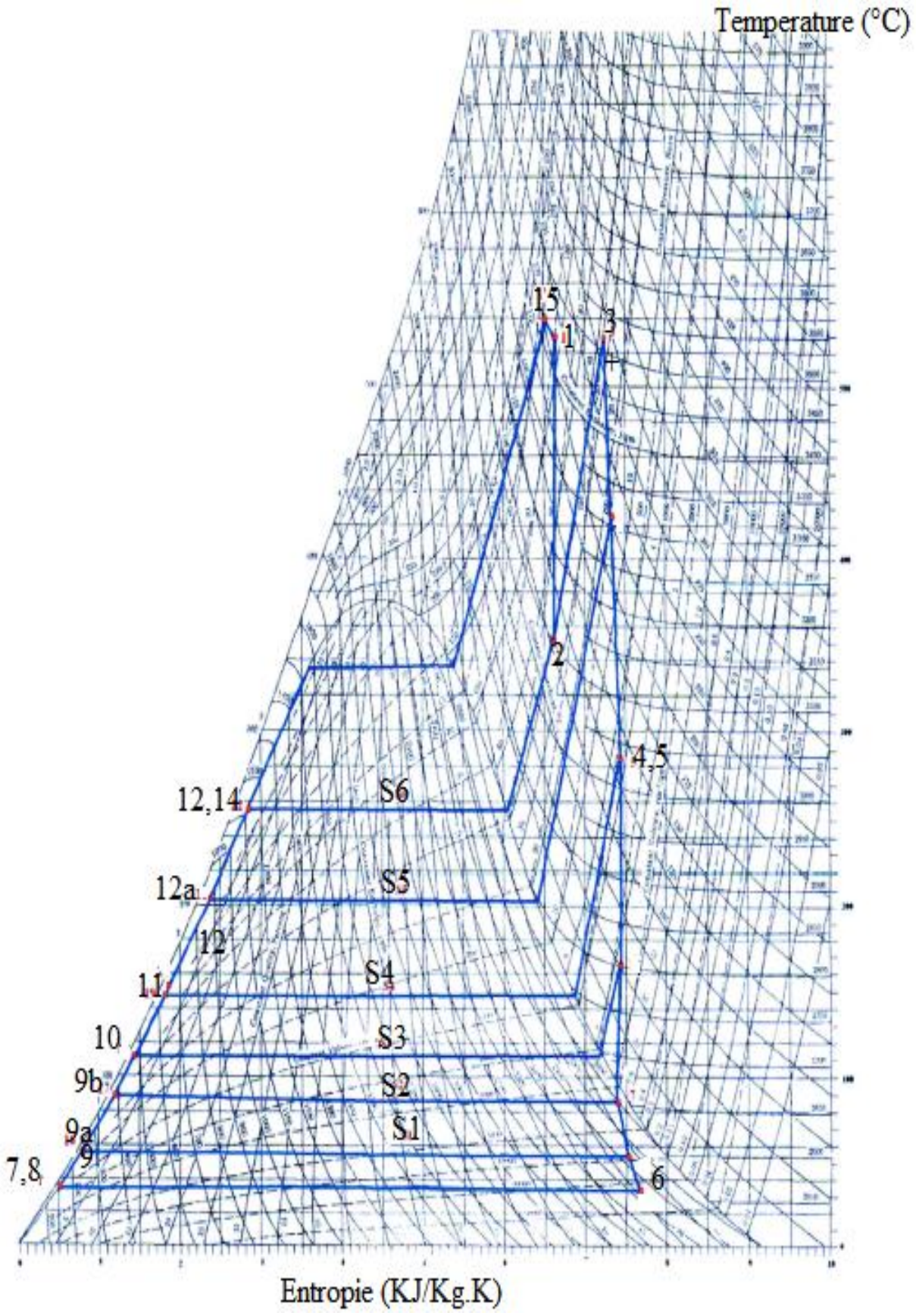


Figure I- 18 : diagramme entropique de la centrale de CAP DJINET [2]

I. Généralités

Le calcul du bilan énergétique des différents éléments du cycle se fait sur 1 Kg de fluide sortant de la chaudière.

Donc :

qtot ⟶ 1 Kg ……..(II.1)

Avec

qtot : la quantité du fluide sortant de la chaudière durant 1 seconde (débit massique).

Pour ce calcul on utilise l'équation du premier principe de la thermodynamique qui représente la conservation de l'énergie aux systèmes thermodynamiques.

- **L'équation du premier principe de la thermodynamique [3]**

$W + Q = \Sigma_{sortie} (H + Ec + Ep) - \Sigma_{entrée} (H + Ec + Ep)$ ……..…….....….....(II.2)

$W + Q = H_s - H_e + 1/2 (v_s^2 - v_e^2) + g (z_s - z_e)$ ……..…….…(II.3)

Avec :

- W : la puissance mécanique fournit ou absorbée par l'organe
- Q : la puissance thermique fournie ou absorbée par l'organe
- H_e , H_s : l'enthalpie du fluide à l'entrée et à la sortie de l'organe
- Ec : énergie cinétique
- Ep : énergie potentielle
- v_e , v_s : la vitesse du fluide à l'entrée et à la sortie de l'organe
- z_e , z_s : le niveau entre l'entrée et la sortie de l'organe.

Les variations d'énergie cinétique du fluide dans les différentes sections de l'installation sont négligeables devant les variations des enthalpies.

$v_s^2 - v_e^2 <<< H_s - H_e$ ……...……..(II.4)

La différence de niveau entre l'entrée et la sortie de chaque organe est nulle (z_s et z_e sont dans le même niveau)

$z_s - z_e = 0$ ……..……..(II.5)

Le calcul se fait avec l'enthalpie massique et le travail massique donc l'équation du 1er principe devient :

$w + q = m_e h_e - m_s h_s$ ……..……(II.6)

Avec:

- w : c'est le travail massique en Kj/Kg
- q : c'est la quantité de chaleur massique en Kj/Kg
- m_e : c'est la fraction du débit à l'entrée de l'organe
- m_s : c'est la fraction du débit à la sortie de l'organe
- h_e , h_s : c'est l'enthalpie massique à l'entrée et à la sortie de l'organe en Kj/Kg

D' après l'équation de la conservation de la quantité de mouvement, la fraction du débit pour un système ayant une entrée et une sortie est comme suit :

$m_e = m_s = m$ ……...……(II.7)

avec $m = (1- \Sigma \text{ fuites } /qtot)$ ……...……(II.8)

Car:

qtot ⟶ Σ fuites (somme des fuites pour le débit total)……(II.9)

1 Kg/s ⟶ X (somme des fuites pour 1Kg/s) ……..….(II.10)

Donc on a d'après la règle des trois

$X = \Sigma \text{ fuites } / \text{ qtot}$ ……..(II.11)

On obtient:

$w + q = (he – h_s) * m$ ……..……...……(II.12)

$w + q = (he – h_s) *(1- \Sigma \text{ fuites } /qtot)$ …….…..….(II.13)

Remarques :

- Les soutirages sont considérés comme fuite.
- La quantité de chaleur (q) pour la turbine et les pompes est nulle.
- Le travail (w) de la chaudière et du condenseur est nul.

II. Diagramme utilisé pour l'étude du cycle

Le choix d'un diagramme représentatif est lié aux possibilités de lecture avec précision des caractères physiques du fluide, plusieurs diagrammes peuvent être constitués, pour l'eau, les plus courant sont

- Le diagramme pression-enthalpie (P-H) ou (logP-H)
- Le diagramme température-entropie (T-S) (diagramme entropique) qui nous intéresse.

Le diagramme entropique (T-S)

Ce diagramme comporte l'entropie en abscisse, la température en ordonné et les lignes isobares, iso-volumes massiques et iso-titres.

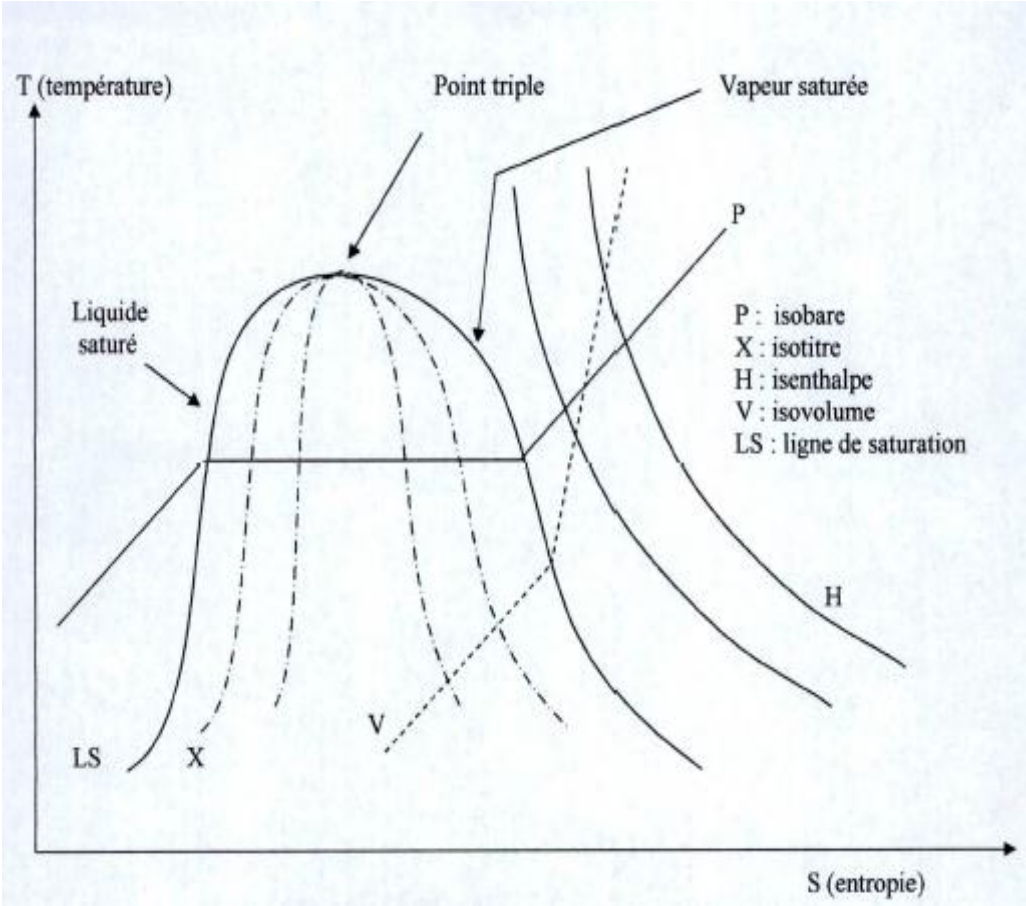


Figure II- 1 : diagramme entropique

- Le schéma à étudier [1]

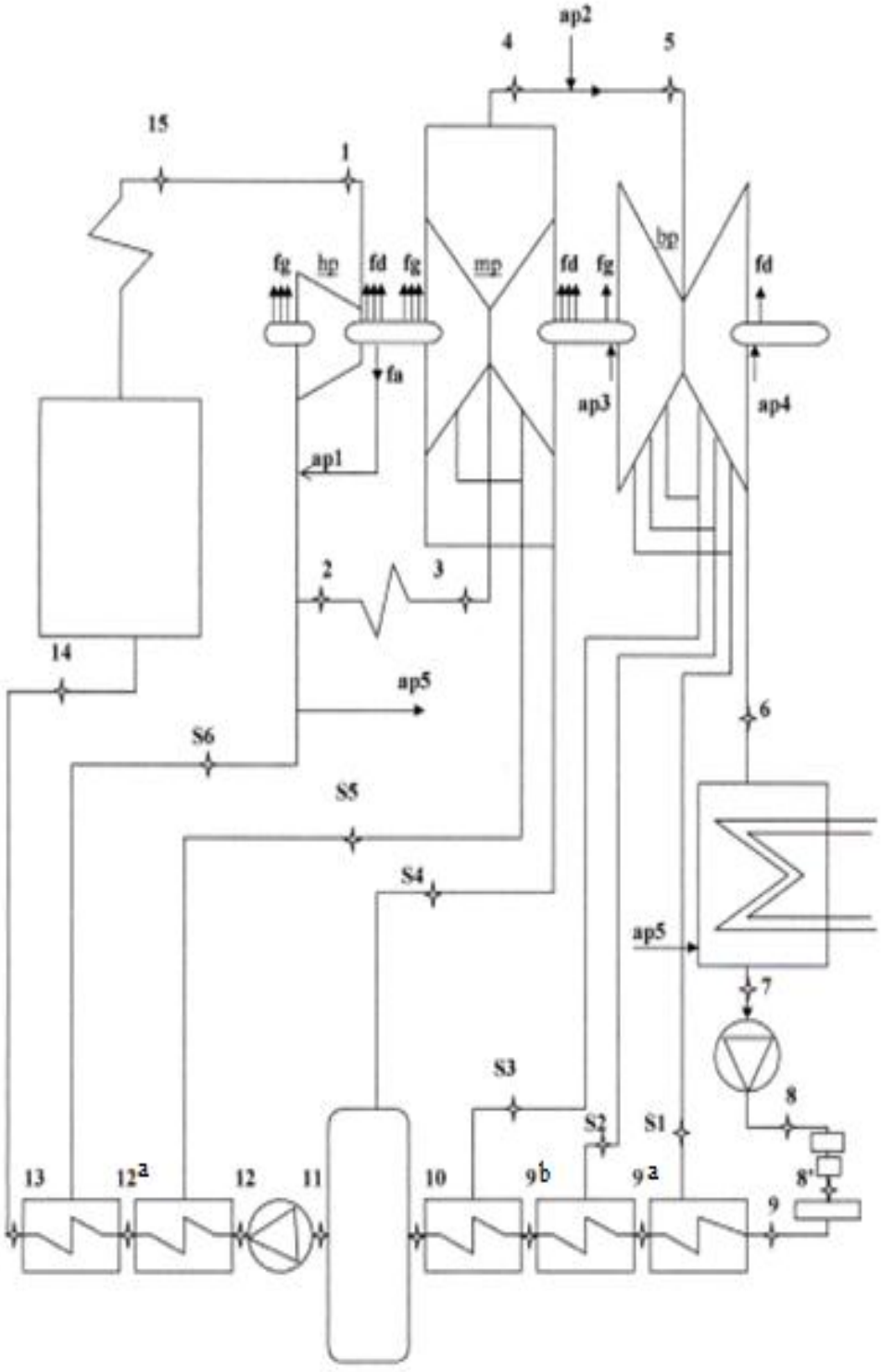


Figure II- 2 : circuit eau-vapeur

- Le diagramme à étudier

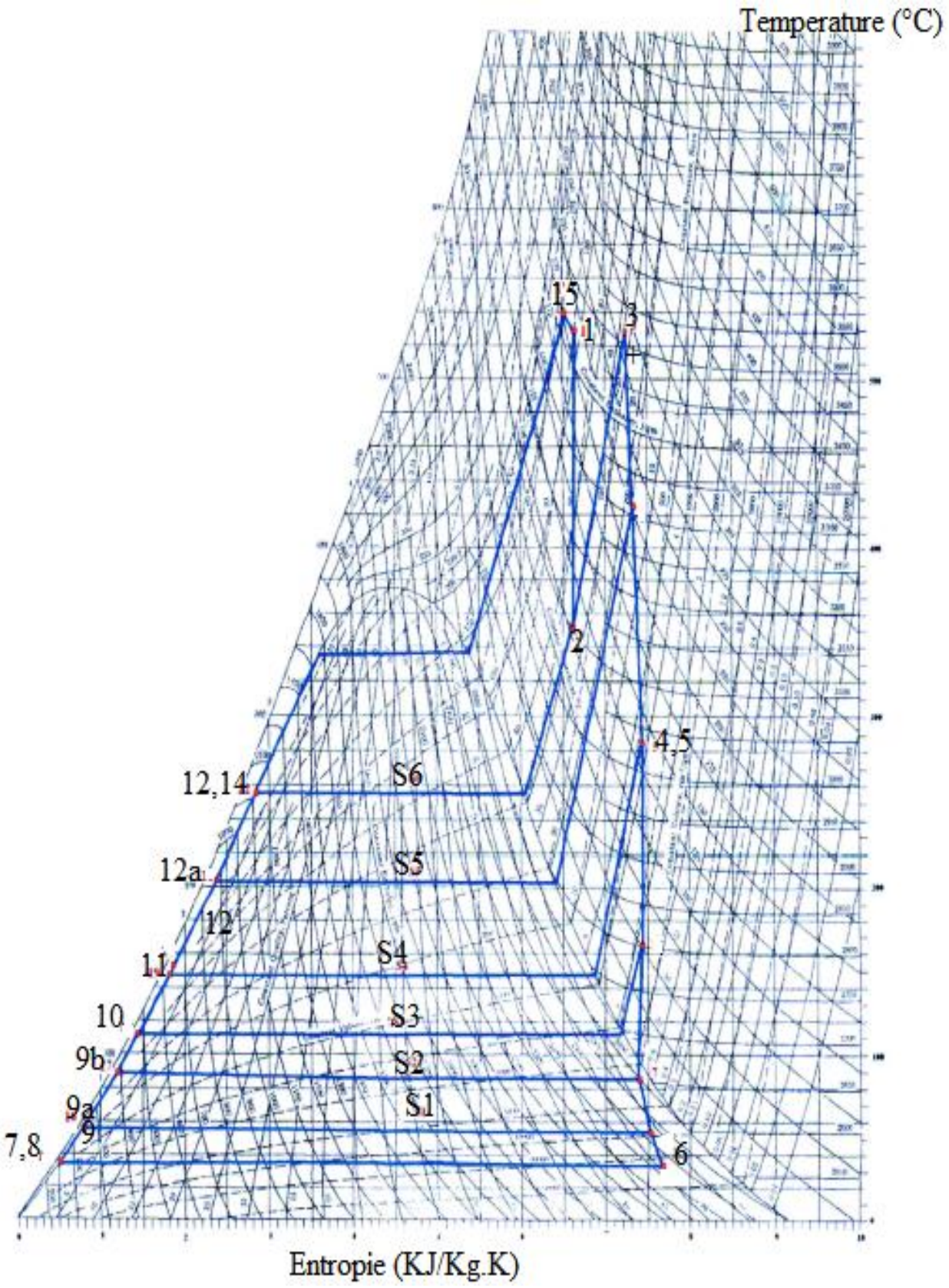


Figure II- 3 : cycle eau-vapeur plein charge

Analyse du cycle T-S

1⟶2 : détente de la vapeur dans le corps HP de la turbine avec entropie croissante.

2⟶3 : ressurchauffe de la vapeur dans le ressurchauffeur.

3⟶4 : détente de la vapeur dans le corps MP de la turbine.

Les points 4 et 5 sont confondus dans le cycle car ils ont les mêmes caractéristiques sauf pour la quantité du débit.

5⟶6 : détente de la vapeur dans le corps BP de la turbine .

6⟶7 : condensation de la vapeur au niveau du condenseur.

7⟶8 : compression du condensat dans les pompes d'extraction.

8⟶9 : échauffement du condensat dans les réfrigérants d'alternateur, le condenseur des buées et le refroidisseur des purges.

9⟶10 : réchauffage du condensat par les réchauffeurs BP.

10⟶11 : échauffement du condensat au niveau de la bâche alimentaire.

11⟶12 : compression de l'eau d'alimentation dans les pompes d'alimentation.

12⟶13 : réchauffage de l'eau d'alimentation par les réchauffeurs HP.

Les points 13 et 14 sont confondus.

14⟶15: vaporisation de l'eau d'alimentation dans la chaudière.

2 ⟶13 : désurchauffe et condensation de la vapeur de soutirage s6 lors du réchauffage de l'eau d'alimentation au niveau du réchauffeur HP6.

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

- **<u>Les données du cycle pour un régime de 100%</u>**

Les mesures des paramètres de la vapeur (P, T et ṁ) aux différents points de la station sont relevées dans la salle de commande en cours des essais (faites en 2007), les enthalpies et les entropies sont calculées grâce à un sous-logiciel (**Refprop**). (Voir annexe)

Point du circuit	T(°C)	P (bar)	H (KJ/Kg)	ṁ (Kg/s)	X	S (KJ/Kg.K)
1	535	138.2	3422.7	145.34	1	6.5233
2	357.2	40	3111.2	129.969	1	6.6128
2is	357.2	40	3096.1	129.969	1	6.6128
3	535	35.9	3530.1	129.969	1	7.2471
4	282.2	5.5287	3026.3	111.956	1	7.3479
4is	282.2	5.5287	3022.6	111.956	1	7.3479
5	282.2	5.5287	3026.3	112.928	1	7.3479
6	32.9	0.05	2364.0	98.25	0.9188	7.7509
6is	32.9	0.05	2240.8	98.25	0	7.7509
7	32.9	0.05	137.65	114.415	0	0.47586
8	33	16.8	139.79	114.415	0	0.47736
9	40.3	6.3716	169.52	114.415	0	0.57607
9a	52.1	7.8813	218.79	114.415	0	0.73052
9b	84.5	7.3910	354.45	114.415	0	1.1283
10	113.4	6.9006	476.19	114.415	0	1.4557
11	151.4	4.9393	638.22	145.340	0	1.8560
12	154.3	177	657.04	145.340	0	1.8563
12a	200.4	176.02	860.93	145.340	0	2.3099
13	246.3	175.04	1069.0	145.340	0	2.7293
14	246.3	175.04	1069.0	145.340	0	2.7293
15	540	145.60	3428.0	145.340	0	6.5081
S6	357.2	40	3111.2	13.674	0	6.6128
S5	423.7	16.508	3305.6	10.012	0	7.2993
S4	282.2	5.5287	3026.3	7.336	0	7.3478
S3	173.2	1.8615	2817.8	5.987	0	7.4248
S2	88.76	0.6695	2651.6	6.460	0.9974	7.4776
S1	56.14	0.1665	2463.9	2.405	0.9416	7.5510

Tableau II- 1 : données du cycle pour 100% de la charge

III. Le bilan énergétique des différents équipements

1. Le bilan énergétique de la turbine

- **Calcul du travail (W_T)**

Le travail total de la turbine égale à la somme des travaux des trois (03) corps HP, MP et BP

$$W_T = W_{HP} + W_{MP} + W_{BP} \quad \text{.....(II.14)}$$

- Travail du corps HP

  L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré (turbine HP) en régime permanent donne

$$W_{HP} = (h_1-h_2)*[1-1/qtot*(fd_1+fd_2+fd_3+fa)] \quad \text{.....(II.15)}$$

$$W_{HP} = 300.1 \text{ KJ/Kg}$$

Tels que :

- fd_1, fd_2, fd_3 et fa ce sont des fuites au niveau du palier côté droit (à l'entrée du corps HP)
- qtot c'est le débit massique du fluide sortant de la chaudière.

- Le rendement isentropique du corps HP

$$\eta_{is\,HP} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2is}) \quad \text{.....(II.16)}$$

$$\eta_{is\,HP} = 0.9537 = 95.37\ \%$$

- Travail du corps MP

  L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré (turbine MP) en régime permanent donne

$$W_{mp} = (h3 - h_{s5}) * [(1 - 1 / qtot) * (fd1 + fd_2 + fd_3 + fa + fg_1 + fg_2 + fg_3 - ap_1 + qs_6)] + (hs5 - h_4) * [(1 - 1 / qtot) * (fd1 + fd_2 + fd_3 + fa + fg_1 + fg_2 + fg_3 - ap_1 + qs_6 + qs_5)] \quad \text{.....(II.17)}$$

$$W_{mp} = 431.30 \text{ KJ/Kg}$$

Avec

- fg_1, fg2 et fg_3 : ce sont des fuites au niveau du palier côté gauche (à la sortie du corps HP)
- ap_1 : c'est un apport de débit au niveau de la sortie du corps HP
- qs_6 : c'est un soutirage au niveau de la sortie du corps HP
- qs_5 : c'est un soutirage au niveau des étages du corps MP

- Le rendement isentropique du corps MP

$\eta_{is\ MP} = (h_3 - h_4) / (h_3 - h_{4is})$……..……..(II.18)

$\eta_{is\ MP} = 0.9929 = 99.29\%$

➢ Le travail du corps BP

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré (turbine BP) en régime permanent donne

$W_{bp} = (h_5-h_{s3})*(1-(1/qtot*(fd_1+fd_2+fd_3+fa+fg_1+fg_2+fg_3-ap_1+qs_6+qs_5+qs_4+fd_4+fd_5+fg_4+fg_5$
$- ap_2)$
$+ (h_{s3}-h_{s2})*(1-(1/qtot*(fd_1+fd_2+fd_3+fa+fg_1+fg_2+fg_3-ap_1+qs_6+qs_5+qs_4+fd_4+fd_5+fg_4+fg_5$
$- ap_2+qs_3)))$
$+ (h_{s2}-h_{s1})*(1-(1/qtot*(fd_1+fd_2+fd_3+fa+fg_1+fg_2+fg_3-ap_1+qs_6+qs_5+qs_4+fd_4+fd_5+fg_4+fg_5$
$- ap_2+qs_3+qs_2)))$
$+ (h_{s1}-h_6)*(1-(1/qtot*(fd_1+fd_2+fd_3+fa+fg_1+fg_2+fg_3-ap_1+qs_6+qs_5+qs_4+fd_4+fd_5+fg_4+fg_5$
$- ap_2+qs_3+qs_2+qs_1)))$ ……..…….(II.19)

$W_{bp} = 481.66$ KJ/Kg

Avec

- fd4 et fd5 : ce sont des fuites au niveau du palier côté droit (à la sortie du corps MP)
- fg4 et fg5 : ce sont des fuites au niveau du palier côté gauche (à la sortie du corps MP)
- ap2 : c'est un apport de débit au niveau du canal qui alimente le corps BP (entre MP et BP)
- qs4 : c'est un soutirage au niveau des étages du corps MP
- qs3 : c'est un soutirage au niveau des étages du corps BP
- qs2 : c'est un soutirage au niveau des étages du corps BP
- qs1 : c'est un soutirage au niveau des étages du corps BP.

Remarques :

Les fuites et les apports au niveau de la sortie du corps BP ne rentrent ni dans le calcul du travail du corps BP ni dans le travail global de la turbine.

- Le rendement isentropique du corps BP

$\eta_{is\ BP} = (h5 - h6) / (h5 - h6is)$ ……..….(II.20)

$\eta_{is\ BP} = 0.8432 = 84.32\ \%$

- **Calcul des puissances**

- La puissance totale de la turbine (puissance indiquée)
  $P_i = W_T * qtot$ ……..…….(II.21)
  $P_i = 176.31$ MW

- La puissance effective sur l'arbre de la turbine
  $P_{eff} = Pi * \eta_{mT}$ avec η_{mT} =0.98 (rendement mécanique de la turbine) ……... (II.22)
  $P_{eff} = 172.79$ MW

- La puissance aux bornes de l'alternateur
  $P = P_{eff} * \eta_{alternateur}$ ……..…(II.23)
  $P = 171.06$ MW

2. Le bilan thermique du condenseur

Le bilan du condenseur fait ressortir l'égalité entre la quantité de chaleur cédée par la vapeur en se condensant et celle récupérée par le fluide de refroidissement (eau de mer).

$q_{cond} = (h_6 * (1-(qf / qtot)) - h_7 * (1- ((1 / qtot) * (qs_4 + qs_5 + qs_6 - ap_5))$ …..(II.16)

$q_{cond} = 1494.2$ KJ/Kg

3. Le bilan énergétique des pompes

- **Pompes d'extraction**

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

$W_{pex} = (h8 - h_7) * (1 - (qs4 + qs_5 + qs_6 - ap_5) / qtot)$ …….....…..(II.24)

$W_{pex} = 1.6850$ KJ/Kg .

- **Puissance de la pompe d'extraction**

$P_{ex} = qtot * w_{pex}$……..….……...…(II.25)

$P_{ex} = 244.86$ KW

- **Pompes d'alimentation**

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

$W_{pal} = (h_{12} - h_{11})$ ……..……..……...….(II.26)

$W_{pal} = 18.813$ KJ/Kg

- **Puissance de la pompe d'alimentation**

  P_{pal}= qtot*w_{pal} ……..…….……..(II.27)

  P_{pal}= 2734.2 KW

3. Le bilan thermique des réchauffeurs

On effectue ce réchauffage avec de la vapeur prélevée ou soutirée des étages intermédiaires de la turbine pour préchauffer l'eau d'alimentation afin d'améliorer le rendement thermique global du cycle.

➢ **Le bilan thermique des réchauffeurs à basse pression (BP)**

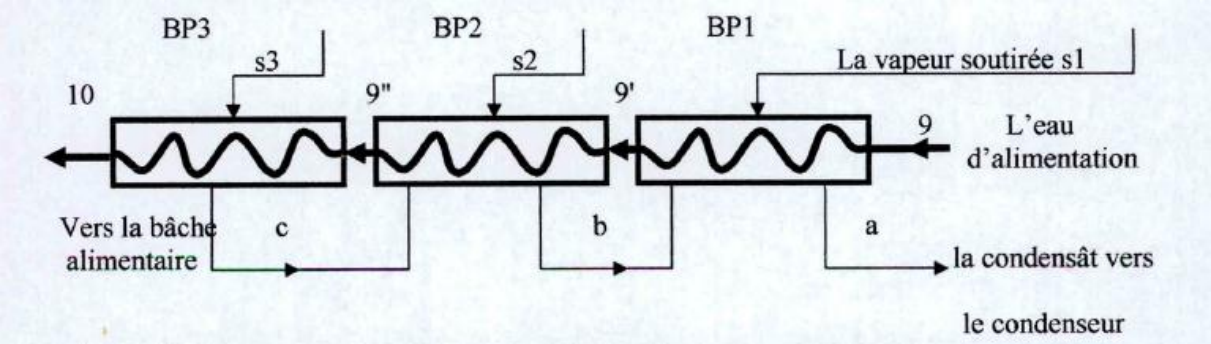


Figure II- 4: shema representatiof des rechauffeurs à BP [1]

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

- Pour BP1 :
  $q_{bp1} = (h_{9a} - h_9) * (1 - (qs_4 + qs_5 + qs_6 - ap_5) / qtot)$ ……..…….. (II.28)
  q_{bp1} = 38.784 KJ/Kg

- Pour BP2 :
  $q_{bp2} = (h_{9b} - h_{9a}) * (1- (qs_4 + qs_5 + qs_6 - ap_5) /qtot)$ ……..……..… (II.29)
  q_{bp2} = 106.8 KJ/Kg

- Pour BP3 :
  $q_{bp3} = (h_{10} - h_{9b}) * (1 - (qs_4 + qs_5 + qs_6 -ap_5) / qtot)$ ……..……..(II.30)
  q_{bp3} = 95.839 KJ/Kg

➢ **Le bilan thermique des réchauffeurs à haute pression (HP)**

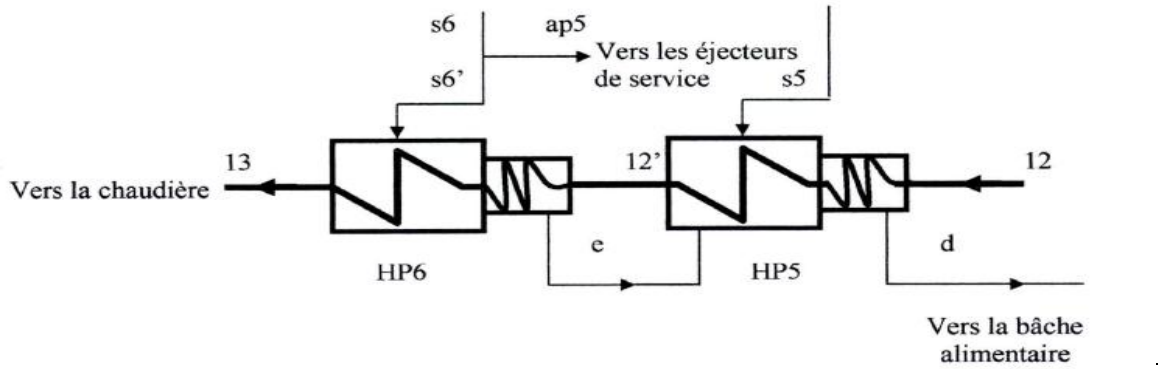


Figure II- 5 : schéma représentatif des réchauffeurs à HP [1]

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré (échangeur de chaleur) en régime permanent donne

- Pour HP5:
  $q_{hp5} = h_{12a} - h_{12}$ ……..….(II.31)
  $q_{hp5} = 203.90$ KJ/Kg

- Pour HP6 :
  $q_{hp6} = h_{13} - h_{12a}$ …….……..……..…….(II.32)
  $q_{hp6} = 208.06$ KJ/Kg

Il reste un troisième réchauffeur qui est de type différent (échangeur par mélange), c'est la bâche alimentaire.

- **Le bilan thermique de la bâche alimentaire**:

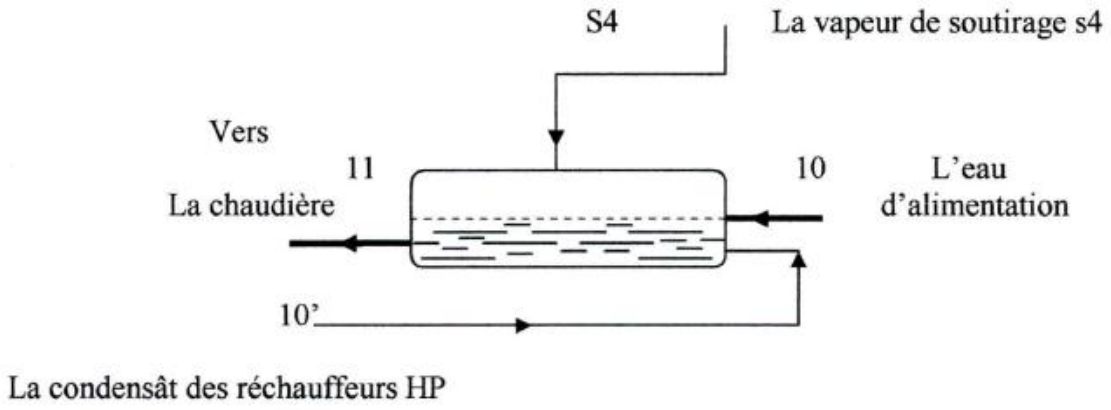


Figure II- 6: schéma représentatif de la bâche alimentaire

L'application du premier principe de la thermodynamique au système considéré (échangeur de chaleur) en régime permanent donne

$q_{bache} = h_{11} - h_{10} * (1 - (qs_4 + qs_5 + qs_6 - ap_5) / qtot)$ ……...(II.33)

$q_{bache} = 263.35$ KJ/Kg

4. Bilan thermique de la chaudière

- **La puissance utile**

C'est l'énergie transmise aux fluides chauffés par unité de temps. C'est-à-dire la différence entre l'énergie exportée vers l'utilisation (turbine) et celle retournée à la chaudière par les fluides à chauffer.

$P_u = \Sigma\, q_s * h_s - \Sigma\, q_e * h_e$ ……(II.34)

- P_u : la puissance utile
- q_s : débit du fluide sortant
- h_s : enthalpie du fluide sortant
- q_e : débit du fluide entrant
- h_e : enthalpie du fluide entrant.

Les entrants sont

- L'eau d'alimentation
- La vapeur à resurchauffée

Les sortants sont

- La vapeur surchauffée
- La vapeur resurchauffée.

Donc

$P_u = (qtot * h15 + (qtot - fd1 - fd2 - fd3 - fg1 - fg2 - fg3 - qs6) * h3) -$

$((qtot * h14) + (qtot - f\,d1 - fd2 - fd3 - fg1 - fg2 - fg3 - qs6 + ap1) * h2)$ ……..(II.35)

$P_u = 3.9730 * 10^5$ KW

Remarques :

D'après l'équation de la puissance utile, on peut tirer l'équation de la chaleur utile qui est la chaleur nécessaire pour transformer l'eau d'alimentation en vapeur surchauffée.

$q_u = P_u / qtot$ ……(II.36)

$q_u = 2733.6$ KJ/Kg

- **La puissance introduite**

Les puissances introduites sont de différentes natures. La principale provenant du combustible et l'autre introduite par l'air préchauffé.

- La puissance introduite par le combustible est proportionnelle au débit de combustible brulé. Par définition, on considère comme puissance introduite par le combustible celle qui résulterait de la combustion complète de la totalité du combustible préparé et introduit dans le système, avec son pouvoir calorifique supérieur.
- La puissance introduite par l'air préchauffé est équivalente à la puissance fournie à la chaudière par le réchauffeur d'air rotatif et les ventilateurs de recyclage.

Donc :

$$P_{intr} = P_c + P_a \quad \text{……..(II.37)}$$

Avec :

Pintr : c'est la puissance introduite

Pc : c'est la puissance apportée par le combustible

Pa : c'est la puissance apportée par le réchauffeur d'air rotatif et les ventilateurs de recyclages.

- **La puissance apportée par le combustible**

C'est la puissance dégagée par la combustion du combustible (gaz naturel) avec l'air dans le foyer de la chaudière.

$$P_c = \dot{m}_c * PCS \quad \text{…….(II.38)}$$

Avec :

$\dot{m}_c$: débit du combustible

PCS : c'est le pouvoir calorifique supérieure du combustible dans les conditions normales.

Remarque

- Les constituants du gaz changent d'un gisement à l'autre ce qui implique un changement du PCS et PCI.
- L'analyse chimique du gaz se fait au niveau du centre de recherche et de développement (CRD) de Boumerdes qui donne à une température de 15°C et à une pression de1.01325 bars le PCS= 39895.8 KJ/Kg.

Donc

$P_c = 454.45$ KW

- **La puissance apportée par le réchauffeur d'air rotatif et les ventilateurs de recyclages**

$$Pa = Prar * \eta rar + Pvr * \eta vr \quad \text{.....(II.39)}$$

Avec :

Prar : c'est la puissance apportée par le réchauffeur d'air rotatif.

ηrar : c'est le rendement du réchauffeur d'air rotatif

Pvr : c'est la puissance apportée par le ventilateur de recyclage.

ηvr : c'est le rendement du ventilateur de recyclage.

Les puissances électriques du réchauffeur d'air rotatif et des ventilateurs de recyclage sont calculées avec la relation suivante

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\psi * \eta \quad \text{.....(II.40)}$$

Tel que :

- V : tension nominale entre les phases (KV).
- I : courant de phases absorbé (A).
- cos ψ : facteur de puissance nominale entre les phases.

Réchauffeur d'air rotatif				Ventilateur de soufflage					
				Ventilateur de soufflage n°1		Ventilateur de soufflage n°2		Valeur en commun	
Irar (A)	Vrar (KV)	ηrar	cosψ	Ivr1 (A)	Vvr1 (KV)	Ivr2 (A)	Vvr2 (KV)	cosψ vr	η vr
8	0.38	0.88	0.8	14	6.300	15.25	6.300	0.8	0.94

Tableau II- 2 : propriétés des ventilateurs de recyclages et du réchauffeur d'air rotatif

$Prar = \sqrt{3} * 0.38 * 8 * 0.8 = 4.2123$ KW

Pvr = 255.3389 KW si la charge >150 MW.

Remarques :

La puissance du ventilateur de recyclage est constante lorsque la charge est supérieure à 150MW. Si la charge est inférieure à 150MW, la puissance du ventilateur de recyclage varie en fonction de cette dernière.

Pvr = f (charge)

Pvr = 0.13772*charge + 229.46 ……..……..…….(II.41)

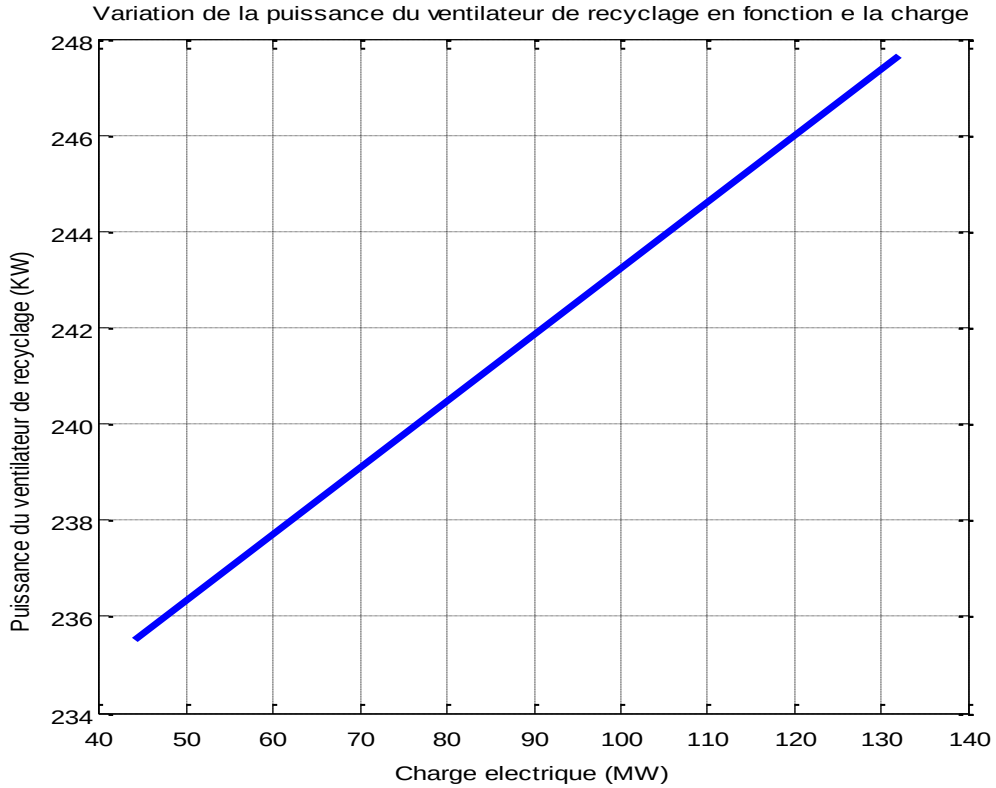


Figure II- 7: evolution de la puissance du ventilateur de recyclage en fonction de la charge

La puissance apportée par les ventilateurs de recyclage et le réchauffeur d'air rotatif sera égale à :

Pa = Prar * ηrar + Pvr * ηvr

Pa = 242.0163 KW

Donc la puissance introduite sera égale à

Pintr = Pc + Pa

Pintr = $4.5469*10^5$ KW

- **Le rendement de la chaudière**

η_{CH} = Pu / Pintr ……(II.42)

$$\eta ch = \frac{(qtot * h15 + (qtot - fd1 - fd2 - fd3 - fg1 - fg2 - fg3 - qs6) * h3)}{mc * PCS + Prar * \eta rar + Pvr * \eta vr} - \frac{((qtot * h14) + (qtot - fd1 - fd2 - fd3 - fg1 - fg2 - fg3 - qs6) * h2)}{mc * PCS + Prar * \eta rar + Pvr * \eta vr}$$

η_{ch} = 0.8738 = 87.38%

III. Le rendement global de la centrale

Le rendement du cycle est le rapport de l'énergie mécanique utile (pour entrainer l'alternateur) sur l'énergie calorifique produite dans la chaudière (reçue par le fluide), il est définie par :

$$\eta = \frac{Wnet}{Qc} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (II.43)$$

$Wnet = W_T - W_P$

W_T : travail total de la turbine

W_P : travail de la pompe

Qc : quantité de chaleur fournie par la chaudière.

Par ailleurs :

$W_P = W_{pal} + W_{pe}$

Donc le rendement devient comme suit :

$$\eta = \frac{Wt - [Wpal + Wpex]}{Q} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (II.44)$$

En tenant compte des pertes dans la turbine, les pompes et la chaudière, l'équation devient

$$\eta = \frac{[Wtot * \eta mec - (Wpex/\eta pext + Wpal/\eta pal)]}{Qu/\eta ch} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (II.45)$$

$\eta pext$ = 78 % : rendement de la pompe d'extraction.

ηpal = 77.5% : rendement de la pompe d'alimentation.

ηch = 85.8% : rendement de la chaudière.

η = 0.3648 = 36.48 %

I. Les paramètres influençant sur le rendement de la centrale de CAP DJINE-T

I.1. Influence de la température de condensation sur le rendement :

L'amélioration des performances de la centrale thermique de CAP DJINET nécessite une détente importante. Cette détente est influencée par plusieurs paramètres dont on peut citer la variation de la température de condensation.

Influence de la température de condensation sur le débit de fonctionnement [4]

Le débit de fonctionnement varie en fonction de la variation de la température de condensation de la vapeur et ce selon la relation suivante :

D'après les calculs qui ont été fait en chapitre 02 (bilan énergétique de la centrale), le travail total de la turbine est :

$W_T = Whp + Wmp + Wbp$ ……(III.1)

$W_T = (h1-h2)*[1-1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa)] +$

$(h3-hs5)*[1-1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6)] +$

$(hs5-h4) *[1-1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5)] +$

$(h5-hs3)*(1-(1/qtot*(fd1 + fd2+ fd3+ fa+fg1 +fg2+ fg3ap1+qs6 +qs5+qs4+ fd4+$

$fd5 + fg4+fg5-ap2))) +$

$(hs3-hs2)*(1-(1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3- ap1+ qs6 +qs5 +qs4 +fd4 +$

$fd5 +fg4+fg5-ap2+qs3)))+$

$(hs2-hs1)*(1-(1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3- ap1 +qs6 +qs5 +qs4 +fd4 +$

$fd5 +fg4+fg5-ap2+qs3+qs2)))+$

$(hs1-H6)*(1-(1/qtot*(fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1 +qs6 +qs5 +qs4 +fd4 +$

$fd5 +fg4+fg5-ap2+qs3+qs2+qs1)))$ ……(III.1')

La puissance totale est :

$P_T = qtot*W_T$ ……..….(III.2)

Qui égale pour le cas de la pleine charge à 176 MW.

Le développement de ceci donne le résultat suivant :

qtot = [P_T - (-h1*a+h2*a-h3*b+hs5*b-hs5*c+h4*c-h5*d+hs3*d-hs3*e+hs2*e -hs2 *f + hs1*f - hs1*g +h6*g)] / (h1-h2+h3-h4+h5-h6) ……..…..(III.3)

Tels que :

a=fd1+fd2+fd3+fa

b=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6

c=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5

d=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5+qs4+fd4+fd5+fg4+fg5-ap2

e=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5+qs4+fd4+fd5+fg4+fg5-ap2+qs3

f=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5+qs4+fd4+fd5+fg4+fg5-ap2+qs3+qs2

g=fd1+fd2+fd3+fa+fg1+fg2+fg3-ap1+qs6+qs5+qs4+fd4+fd5+fg4+fg5-ap2 +qs3 +qs2 + qs1

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant

Température de condensation (°C)	Enthalpie sortie turbine h6 (KJ/Kg)	Débit de fonctionnement (Kg/s)
32	2366.2	144.8977
33	2368.2	145.0935
34	2370.2	145.2897
35	2372.2	145.4862
36	2374.2	145.6831
37	2376.2	145.8804
38	2378.1	146.0781

Tableau III- 1 : évolution du débit de fonctionnement et dd l'enthalpie sortie turbine en fonction de la température de condensation

Les résultats du tableau ci-dessus sont représentés dans la figure suivante :

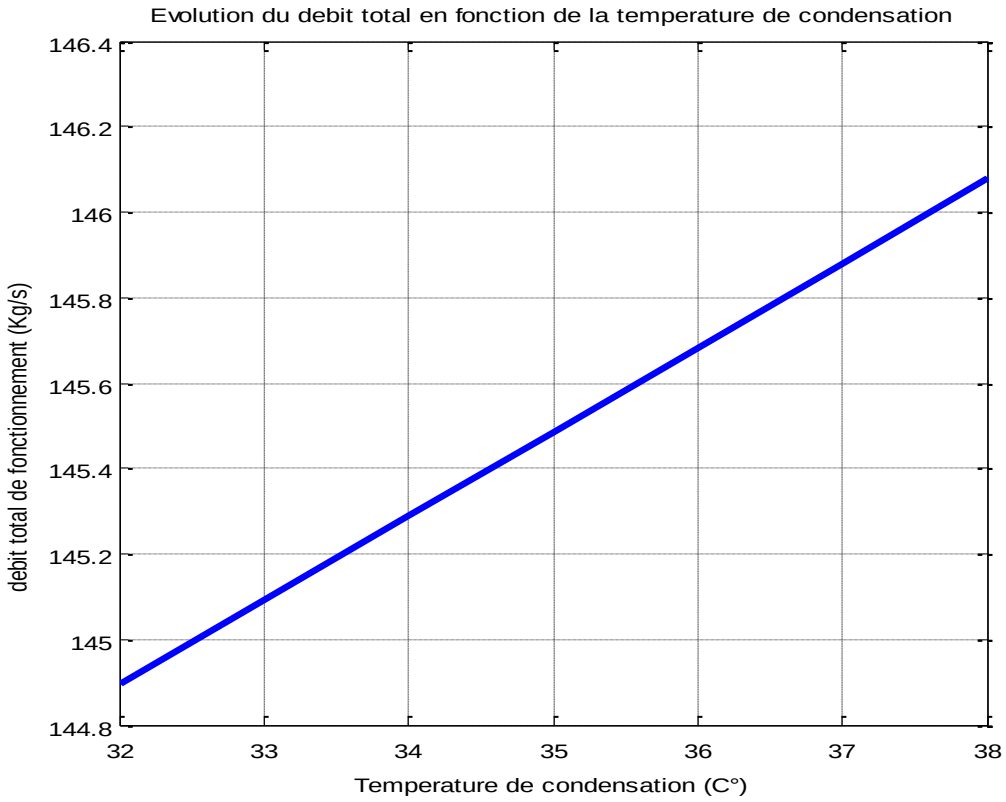


Figure III- 1: evolution du debit de fonctionnement en fonction de la temperature de condensation

D'après la figure ci-dessus on constate que le débit de fonctionnement est proportionnel à la température de condensation. Lorsque la température augmente on voit que le débit augmente aussi.

Influence de la température de condensation sur le rendement de la centrale :

Les résultats obtenus après l'exécution du programme de calcul du rendement de la centrale pour le cas de la pleine charge en fonction de la température de condensation (voir annexes) sont représentés dans le tableau suivant :

Température de condensation (°C)	Rendement de la centrale (%)
32	36.4213
33	36.2474
34	36.0736
35	35.8998
36	35.7261
37	35.5524
38	35.3787

Tableau III- 2 : évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de condensation

Les résultats du tableau ci-dessus sont représentés dans la figure suivante :

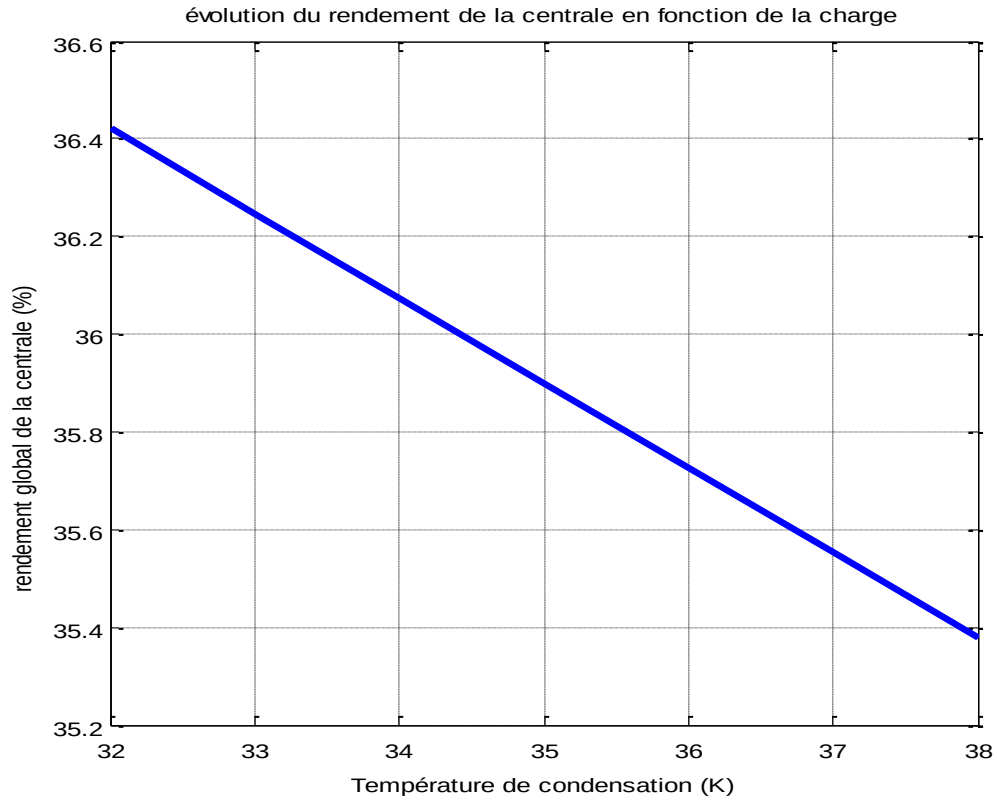


Figure III- 2: evolution du rendement de la centrale en fonction de la temperature de condensation

D'après la figure ci-dessus on constate que le rendement de la centrale est inversement proportionnel à la température de condensation. Lorsque la température augmente on voit que le rendement diminue.

I.2. Influence de la variation de la charge :

Présentation des caractéristiques des différents points du circuit eau-vapeur de la centrale en fonction de la charge :

Les températures, les pressions et les débits sont relevés à partir de la salle de commande à l'aide des capteurs qui se trouvent aux différents points de la station, les enthalpies et les entropies sont calculées grâce à un sous logiciel **(REFPROP)**.

- Pour le cas de la pleine charge : c'est-à-dire pour un débit total de 145.34 Kg/s et une puissance maximale de 176 MW

Point du circuit	T(°C)	P (bar)	H (KJ/Kg)	ṁ (Kg/s)	X	S (KJ/Kg.K)
1	535	138.2	3422.7	145.34	1	6.5233
2	357.2	40	3111.2	129.969	1	6.6128
2is	357.2	40	3096.1	129.969	1	6.6128
3	535	35.9	3530.1	129.969	1	7.2471
4	282.2	5.5287	3026.3	111.956	1	7.3479
4is	282.2	5.5287	3022.6	111.956	1	7.3479
5	282.2	5.5287	3026.3	112.928	1	7.3479
6	32.9	0.05	2364.0	98.25	0.9188	7.7509
6is	32.9	0.05	2240.8	98.25	0	7.7509
7	32.9	0.05	137.65	114.415	0	0.47586
8	33	16.8	139.79	114.415	0	0.47736
9	40.3	6.3716	169.52	114.415	0	0.57607
9a	52.1	7.8813	218.79	114.415	0	0.73052
9b	84.5	7.3910	354.45	114.415	0	1.1283
10	113.4	6.9006	476.19	114.415	0	1.4557
11	151.4	4.9393	638.22	145.340	0	1.8560
12	154.3	177	657.04	145.340	0	1.8563
12a	200.4	176.02	860.93	145.340	0	2.3099
13	246.3	175.04	106.90	145.340	0	2.7293
14	246.3	175.04	106.90	145.340	0	2.7293
15	540	145.60	3428.0	145.340	0	6.5081
S6	357.2	40	3111.2	13.674	0	6.6128
S5	423.7	16.508	3305.6	10.012	0	7.2993
S4	282.2	5.5287	3026.3	7.336	0	7.3478
S3	173.2	1.8615	2817.8	5.987	0	7.4248
S2	/	0.6695	2651.6	6.460	0.9974	7.4776
S1	56.1	0.1665	2463.9	2.405	0.9416	7.5510

Tableau III- 3 : donnée du cycle pour le regime de 100 %

- Pour le cas de 75% de la charge c'est-à-dire pour un débit total= 104.717 Kg/s et une puissance maximale de 132MW

Point du circuit	T(°C)	P (bar)	H (KJ/Kg)	ṁ (Kg/s)	X	S (KJ/Kg.K)
1	535	148.68	3410.9	104.717	1	6.4783
2	326.8	29.130	3062.9	94.676	1	6.6708
2is	291.893	29.13	1395.0	94.676	1	6.5222
3	535	26.247	3539.6	94.676	1	7.4005
4	284.1	4.0812	3034.2	82.098	1	7.5004
4is	254.489	5.528	1360.1	82.098	1	7.2413
5	284.1	4.0812	3034.2	83.087	1	7.5004
6	29.7	0.0417	2368.5	73.425	0.9233	7.8429
6is	29.6818	0.0417	912.32	84.196	0.9233	7.7522
7	29.7	0.0417	124.48	84.196	0	0.4326
8	29.9	19.2490	124.48	84.196	0	0.4347
9	37.4	6.4261	127.07	84.196	0	0.5373
9a	47.5	5.1605	157.23	84.196	0	0.6711
9b	78.1	5.8951	199.33	84.196	0	1.0526
10	105.6	5.5296	443.13	84.196	0	1.3697
11	140.5	3.6683	591.31	104.717	0	1.7444
12	143.6	170.9000	615.40	104.717	0	1.7590
12a	188.8	170.4700	809.73	104.717	0	2.2018
13	230.4	159.9600	995.07	104.717	0	2.5883
14	230.4	159.9500	995.07	104.717	0	2.5883
15	535	152.5000	3420.4	104.717	0	6.4795
S6	326.9	29.1300	3063.2	8.793	0	6.6712
S5	425.1	12.1180	3315.0	6.949	0	7.4531
S4	284.1	4.0812	3034.2	4.855	0	7.5004
S3	175	1.3786	2823.9	4.104	0	7.5764
S2	87.1	0.4956	2656.9	4.433	0	7.6297
S1	50.1	0.1241	2470.2	1.301	0.9491	7.6982

Tableau III- 4 : données du cycle pour un régime de 75 %

- Pour le cas de 50% de la charge c'est-à-dire pour un débit total= 69.555 Kg/s et une puissance maximale de 88MW

Point du circuit	T(°C)	P (bar)	H (KJ/Kg)	ṁ (Kg/s)	X	S (KJ/Kg.K)
1	532	155	3395.4	69.555	1	6.4419
2	304.6	19.506	3036.2	63.614	1	6.8003
2is	291.8	39.7999	3040.2	63.614	1	6.5222
3	524.0	17.586	3523.7	63.614	1	7.5629
4	277.8	2.7657	3025.0	55.865	1	7.6617
4is	254.5	5.5285	2941.3	55.865	1	7.2413
5	277.8	2.7657	3025.0	56.539	1	7.6617
6	26.8	0.0352	2377.1	50.957	0.9292	7.9437
6is	26.6	0.035	2389.0	50.957	0	7.7522
7	26.8	0.0352	112.36	57.296	0	0.39239
8	27.1	20.595	115.5	57.296	0	0.39599
9	35.4	4.809	148.73	57.296	0	0.51038
9a	41.9	4.6861	175.88	57.296	0	0.59749
9b	70.1	4.5631	293.83	57.296	0	0.95609
10	95.7	4.4402	401.31	57.296	0	1.2581
11	127.2	2.4789	534.44	69.555	0	1.6050
12	131	167.35	561.84	69.555	0	1.6295
12a	174	167.13	745.26	69.555	0	2.0607
13	211.4	155.8	908.95	69.555	0	2.4150
14	211.4	155.8	908.95	69.555	0	2.4150
15	532	156.7	3407.40	69.555	0	6.4522
S6	304.6	19.506	3036.2	5.090	0	6.8003
S5	416.5	8.1640	3302.4	4.327	0	7.6151
S4	277.8	2.7657	3025.0	2.939	0	7.6617
S3	170	0.9370	2816.60	2.586	0	7.7369
S2	83.2	0.3388	2651.7	2.749	0	7.7893
S1	42.9	0.0858	2468.0	0.448	0.9539	7.8526

Tableau III- 5 : données du cycle pour un régime de 50 %

Les débits de soutirage en fonction de la charge :

La vapeur entre dans la turbine à l'état surchauffée et pendant son écoulement, elle subit une détente dans les étages des corps (HP, MP et BP), dans ces derniers se trouvent des soutirages d'une quantité de vapeur pour un autre rôle.

Ces soutirages servent à réchauffer le condensat (l'eau d'alimentation) avant de l'envoyer dans la chaudière.

Les conduites des soutirages ne sont pas équipées pour le calcul des débits donc on a choisi la méthode d'interpolation qui donne des résultats proche de la réalité.

L'interpolation se fait entre le débit en amont de soutirages et le débit de soutirage.

- **Pour le soutirage S6 :**

L'équation en amont de soutirage S6 est :

qms6=qtot-fdhp ……..……...(III.4)

Tels que :

qms6 : le débit en amont S6

fdhp : fuite à droite du corps HP.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 6 qms6 (Kg/s)	36.075	69.144	104.110	144.522
Débit de soutirage 6 (qs6) (Kg/s)	4.230	6.090	8.783	13.674

Tableau III- 6: débit de soutirage 6 pour différentes charges [1]

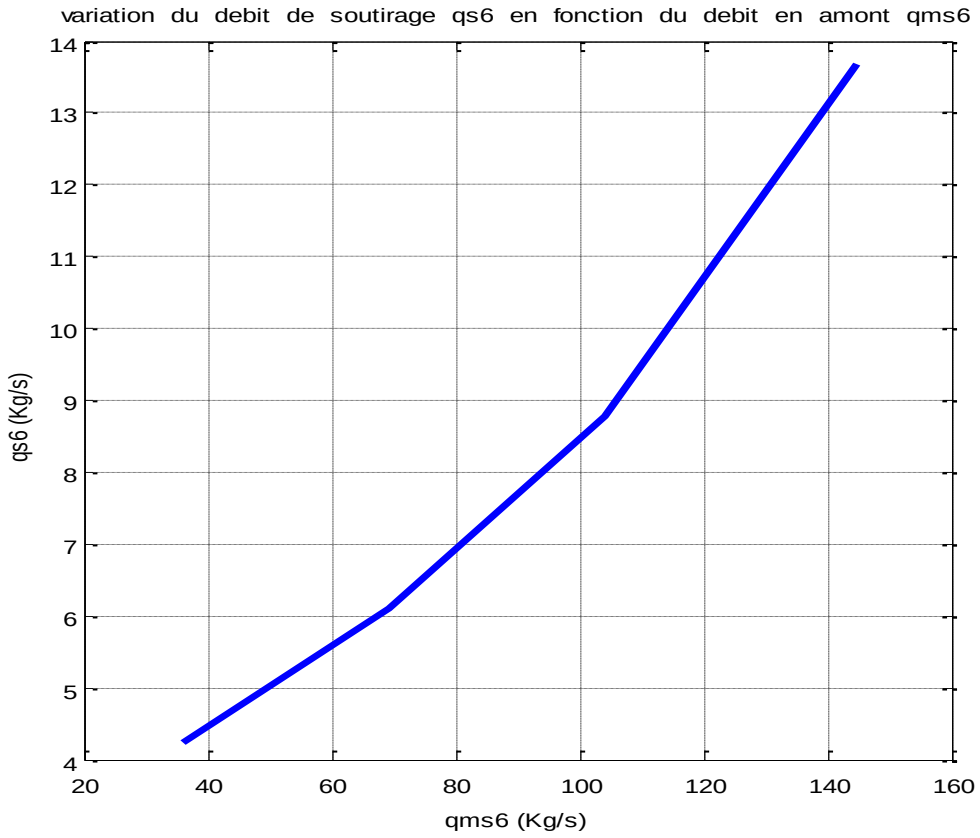


Figure III- 3: évolution du débit de soutirage qs6 en fonction du débit en amont qms6

L'équation du débit du soutirage S6 est

qs6=2.5686*10^-6*qms6^3-0.00023238*qms6^2+0.058666*qms6+2.2954 …….(III.5)

- **Pour le soutirage S5 :**

L'équation en amont du soutirage S5 est :

qms5= qms6 - qs6 – fghp ……..…..(III.6)

qms5 : le débit en amont S5

fghp : les fuites à gauche du corps HP.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 5 qms5 (Kg/s)	31.624	63.641	94.675	129.969
Débit de soutirage 5 qs5(Kg/s)	1.087	4.327	6.949	10.012

Tableau III- 7 : evolution de qs5 en fonction de qms5 [1]

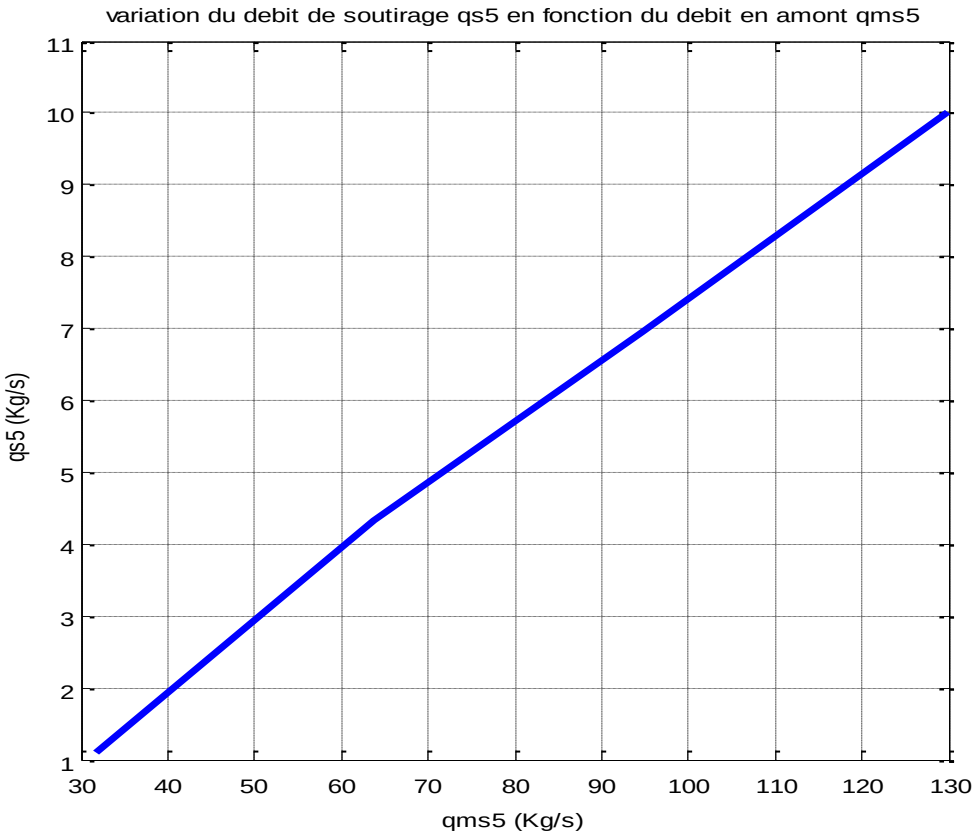


Figure III- 4: evolution de qs5 en fonction de qms5

L'équation du débit du soutirage S5 est :

qs5=3.0467*10^-6*qms5^3-0.00084367*qms5^2+0.16005*qms5-3.2271 …….(III.7)

- **Pour le soutirage S4 :**

L'équation en amont du soutirage S4 est :

qms4=qms5-qs5 ……...……(III.8)

qms4 : débit en amont de S4.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 4 qms4 (Kg/s)	30.537	59.287	87.727	119.957
Débit de soutirage 4 qs4(Kg/s)	0.000	2.939	4.886	7.336

Tableau III- 8: évolution de qs4 en fonction de qms4 [1]

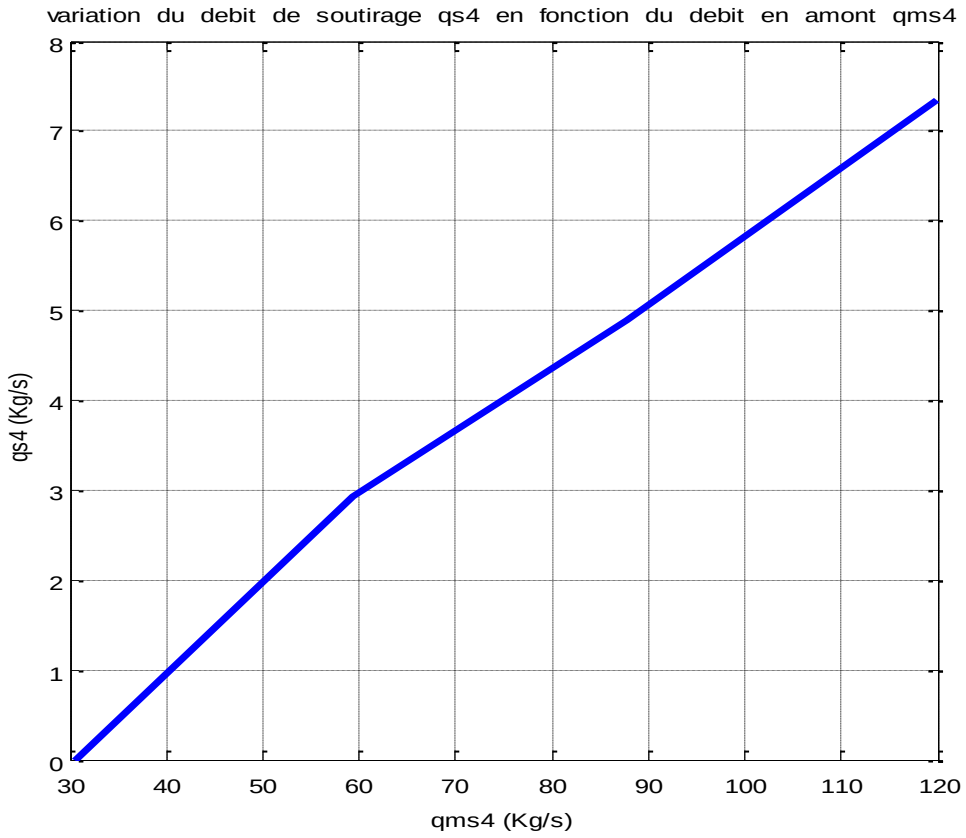


Figure III- 5: évolution de qs4 en fonction de qms4

L'équation du débit du soutirage S4 est

qs4=-4.9886*10^-6*qms4^3+0.0010842*qms4^2+0.013592*qms4-1.284 ……(III.9)

- **Pour le soutirage S3**

L'équation en amont du soutirage S3 est :

qms3=qms4-qs4-fdmp-fgmp+ap2 ……(III.10)

qms3: le débit en amont du soutirage S3

fdmp : fuites à droite du corps MP.

fgmp : fuites à gauche du corps MP

ap2 : apport de débit entre le corps MP et BP.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 3 qms3 (Kg/s)	30.689	56.539	83.087	112.928
Debit de S3 qs3(Kg/s)	1.205	2.561	4.104	5.987

Tableau III- 9 : évolution de qs3 en fonction de qms3 [1]

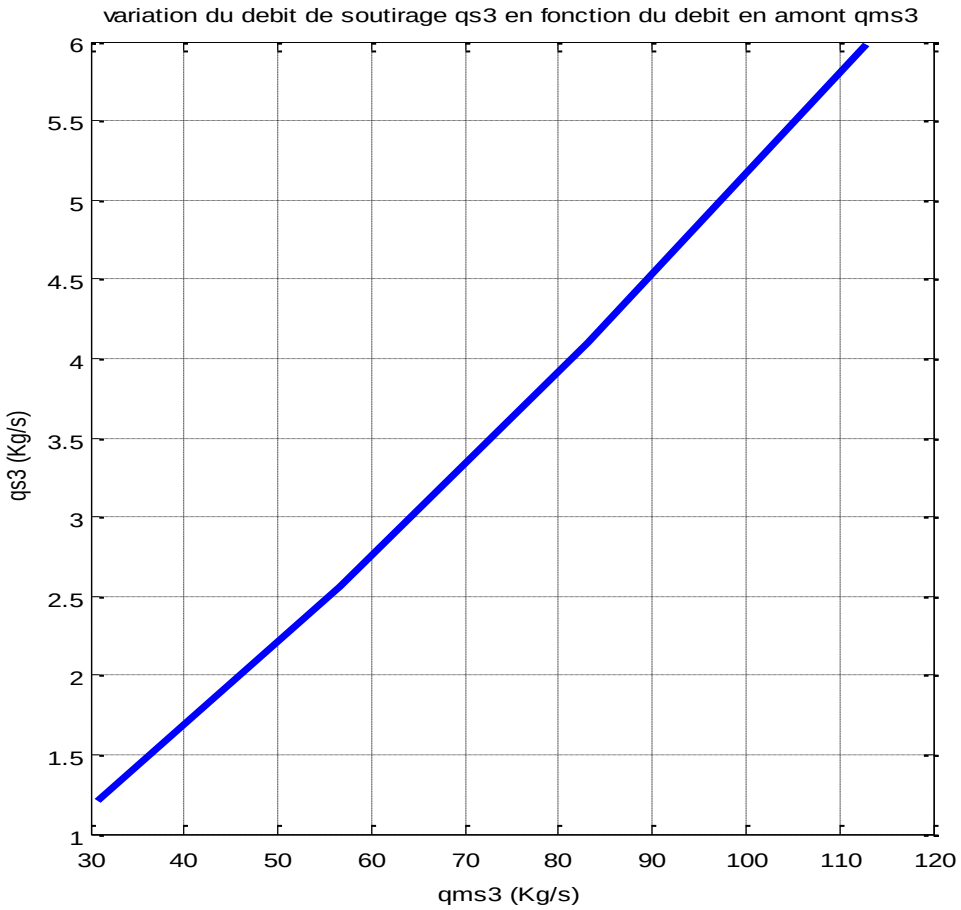


Figure III- 6 : évolution de qs3 en fonction de qms3 [1]

L'équation du débit du soutirage S3 est :

qs3=-2.4069*10^-7*qms3^3+0.0001491*qms3^2+0.040864*qms3-0.18256 …..(III.11)

- **Pour le soutirage S2 :**

L'équation en amont du soutirage S2 est

qms2=qms3-qs3 ……(III.12)

qms2 : le débit en amont du soutirage S2.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 2 qms2 (Kg/s)	29.482	53.978	78.983	106.941
Debit de S2 qs2(Kg/s)	1.034	2.749	4.433	6.460

Tableau III- 10 : évolution de qs2 en fonction de qms2 [1]

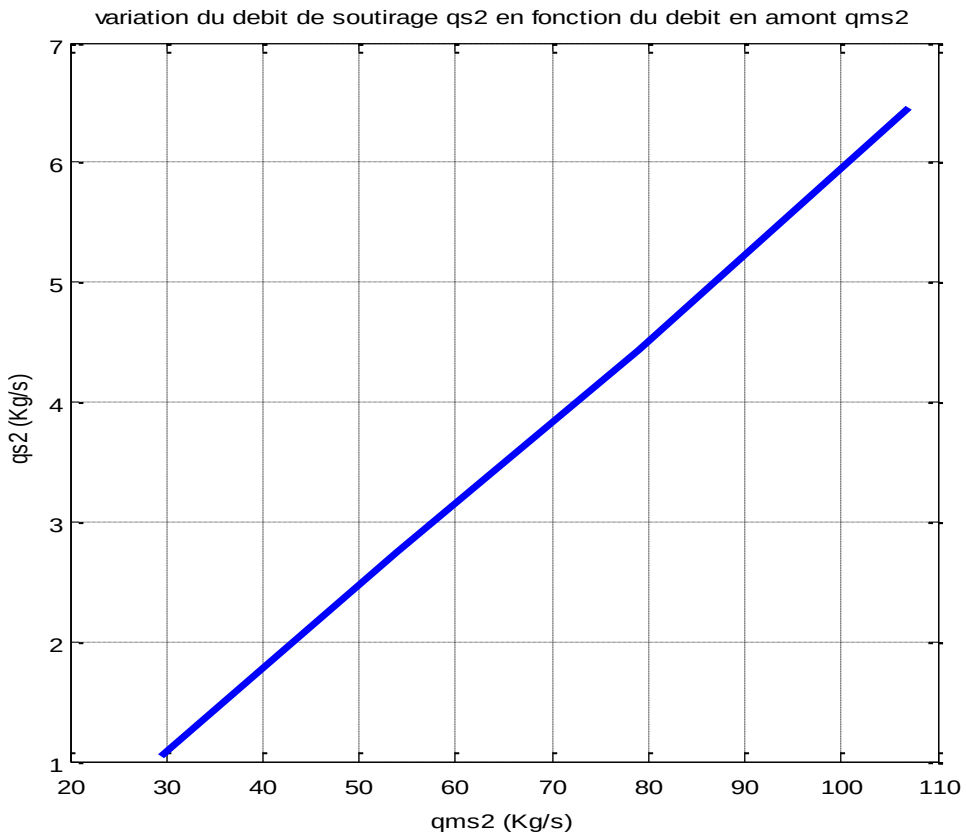


Figure III- 7: évolution de qs2 en fonction de qms2

L'équation du débit du soutirage S2 est :

qs2=1.9516*10^-6*qms2^3-0.00037086*qms2^2+0.090475*qms2-1.361 …..….(III.13)

- **Pour le soutirage S1 :**

L'équation en amont du soutirage S1 est

qms1=qms2-qs2 ……(III.14)

qms1 : le débit en amont du soutirage S1.

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit en amont de soutirage 1 qms1 (Kg/s)	28.445	51.072	74.547	100.480
Debit de S1 qs1(Kg/s)	0.000	0.448	1.301	2.405

Tableau III- 11: évolution de qs1 en fonction de qms1 [1]

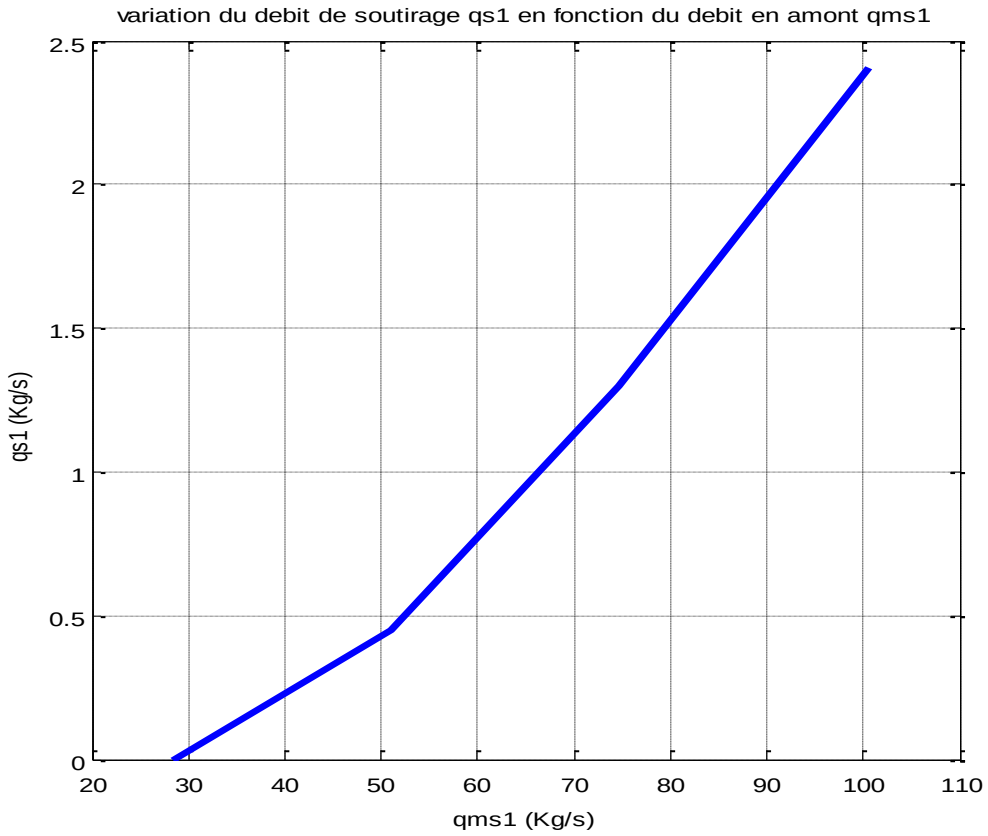


Figure III- 8: évolution de qs1 en fonction de qms1

L'équation du débit du soutirage S1 est :

qs1=-3.2274*10^-6*qms1^3+0.000855993*qms1^2-0.032543*qms1+0.030743..(III.15)

Remarques :

On voit que les débits de soutirage sont proportionnels à la charge, lorsque la charge augmente les débits de soutirage augmentent aussi.

Les débits de fuites en fonction de la charge

Le schéma ci-dessous représente les différentes fuites au niveau de la centrale de CAP DJINET :

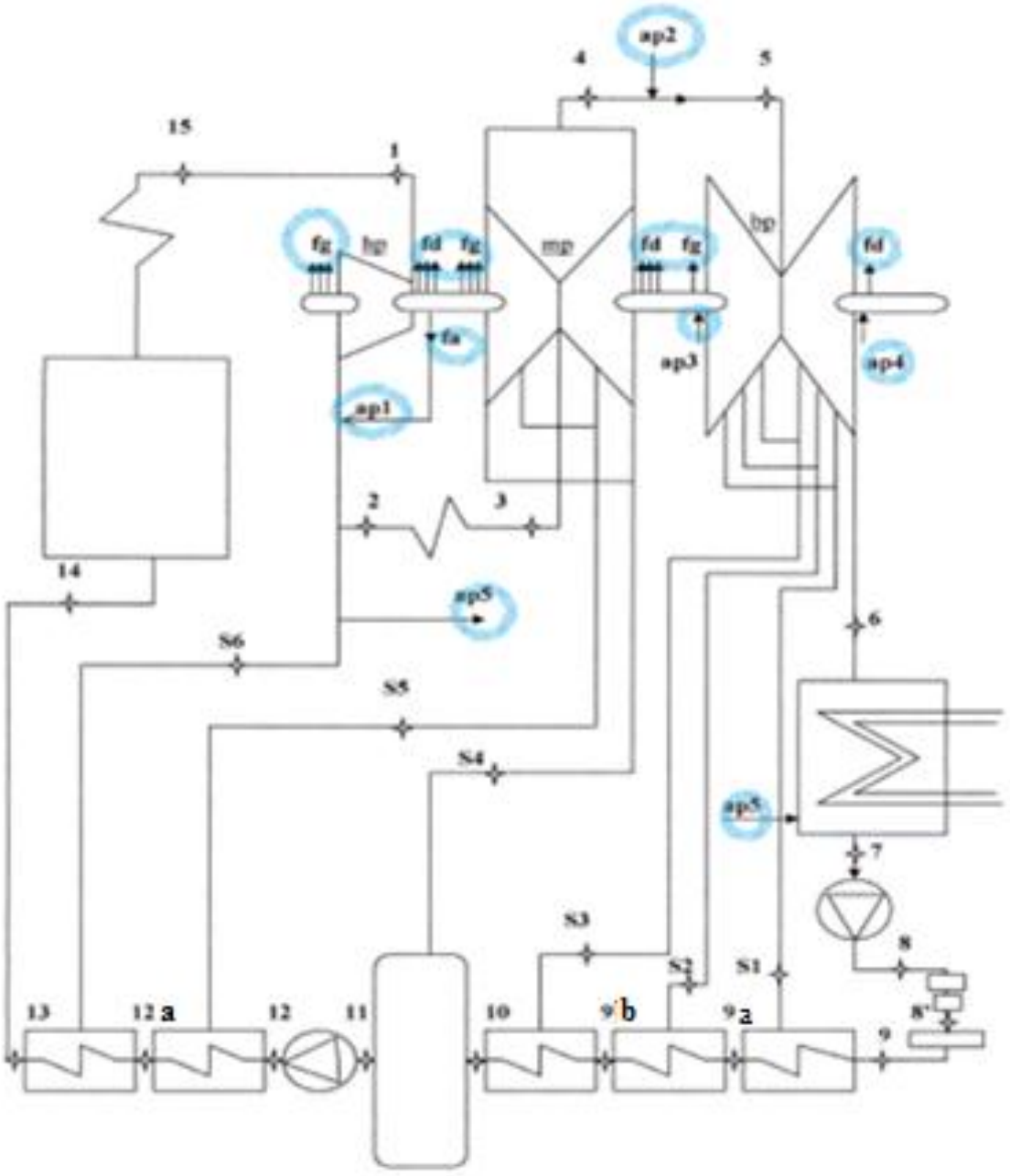


Figure III- 9: schéma représentatif des différentes fuites de la centrale

La variation des débits de fuites en fonction de la charge est représentée dans le tableau ci-dessous

Charges	25%	50%	75%	100%
Débit total (Kg/s)	36.283	69.555	104.717	145.340
fd1	0.175	0.334	0.490	0.660
fd2	0.028	0.072	0.112	0.153
fg1	0.18	0.340	0.499	0.672
fg2	0.037	0.094	0.147	0.201
fd4	0.085	0.243	0.391	0.522
fg4	0.064	0.184	0.295	0.417
ap1	1.103	2.112	3.199	4.470

Tableau III- 12 : variation des débits de fuite en fonction de la charge [1]

- **Pour fd1, fd2, fg1 et fg2**

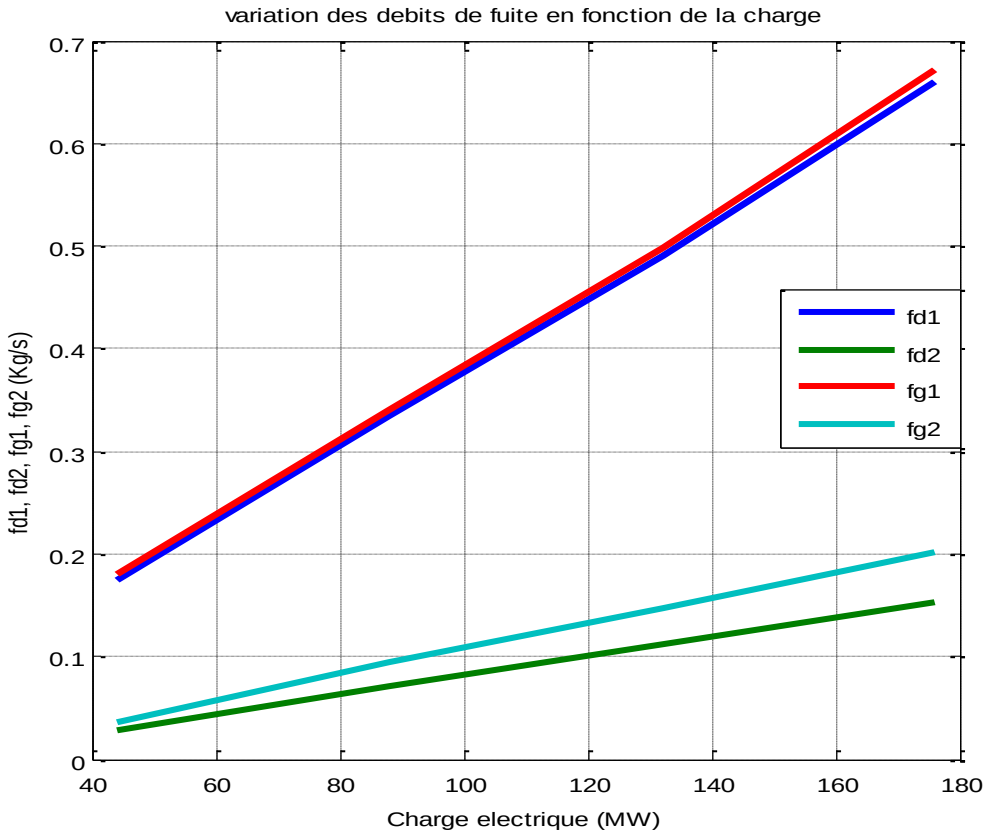


Figure III- 10: évolution des fuites fd1, fd2, fg1, fg2 du corps HP en fonction de la charge

Les équations des fuites fd1, fd2, fg1 et fg2en fonction du débit total sont :

fd1=-4.0625*10^-6*(qtot)^2+0.0051812*qtot-0.007401 ……..(III.16)

fd2=-2.1377*10^-6*(qtot)^2+0.0015321*qtot-0.024632……(III.17)

fg1=-3.7909*10^-6*(qtot)^2+0.0051983*qtot-0.0035148……..……(III.18)

fg2=-2.6396*10^-6*(qtot)^2+0.00199817*qtot-0.031333 ……..……..(III.19)

❖ **Pour fd4 et fg4 :**

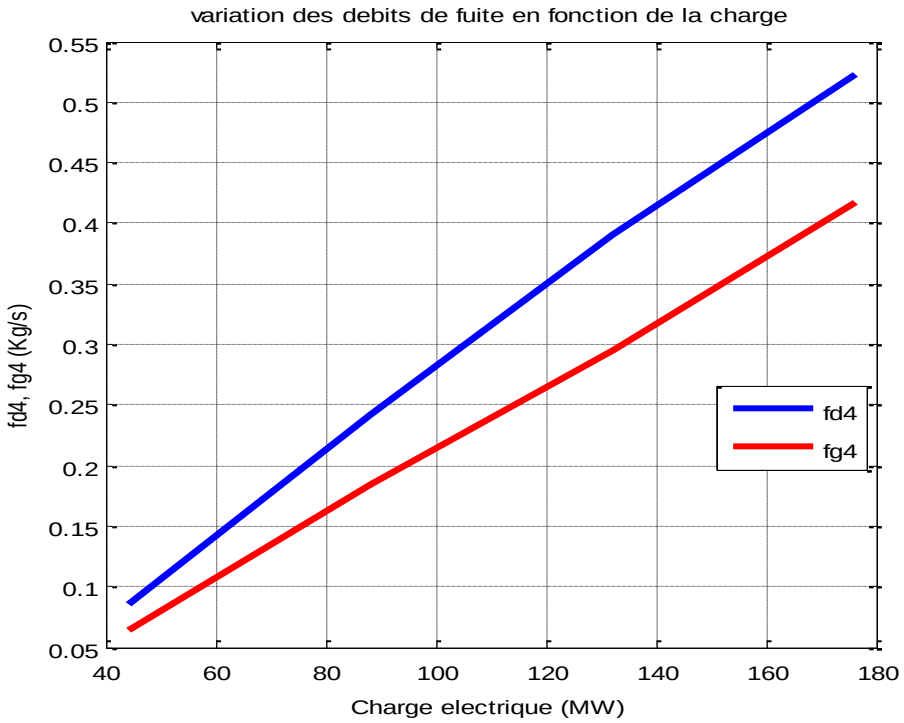


Figure III- 11: évolution des fuites fd4, fg4 du corps MP en fonction de la charge

Les équations des fuites fd4 et fg4 en fonction du débit total sont

fd4=-5.2914*10^-6*(qtot)^2+0.0052326*qtot-0.09722 …….(III.20)

fg4=-4.0323*10^-6*(qtot)^2+0.0039588*qtot-0.073674 ……..……(III.21)

❖ **Pour ap1 :**

ap1 = fa

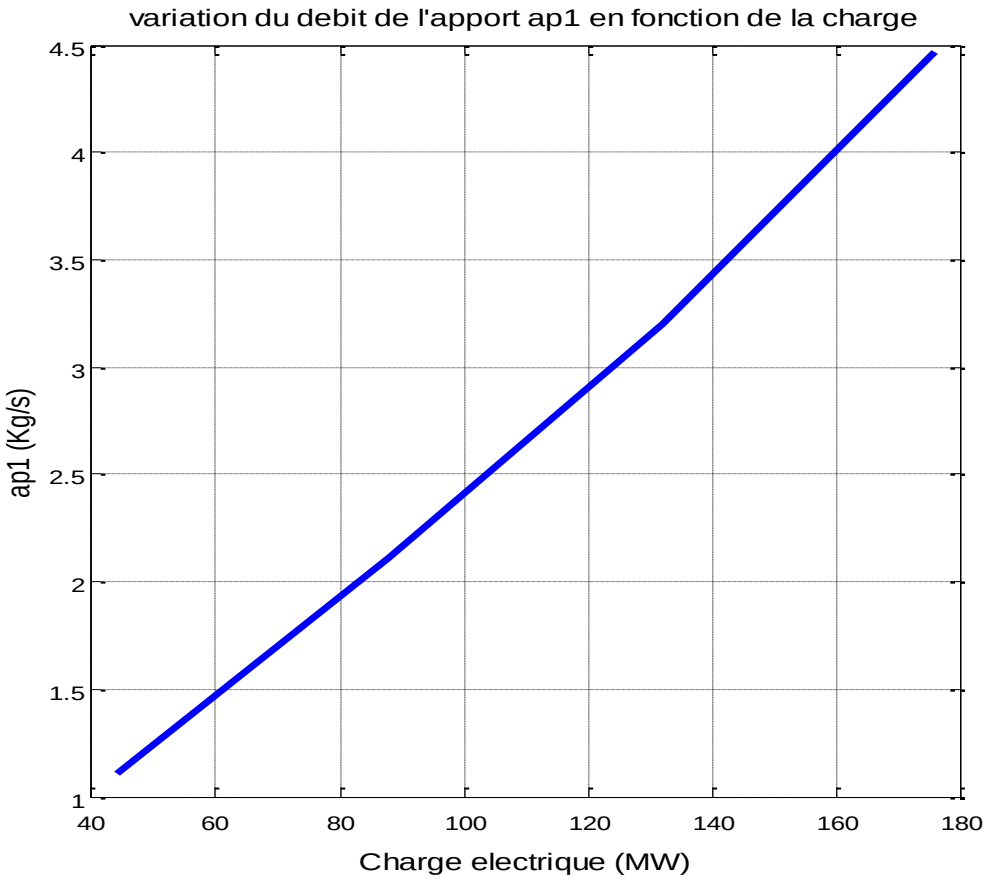


Figure III- 12 : évolution du débit d'apport ap1 en fonction de la charge

L'équation du l'apport de débit ap1 en fonction du débit total est :

ap1=6.5473*10^-6*(qtot)^2+0.029693*qtot+0.016502……..(III.22)

- **Pour ap2 :**

ap2=fg1+fd1 ……...…….(III.23)

- **pour ap3 :**

charge	25%	50%	75%	100%
ap3	0.1120	0.1110	0.1100	0.1090

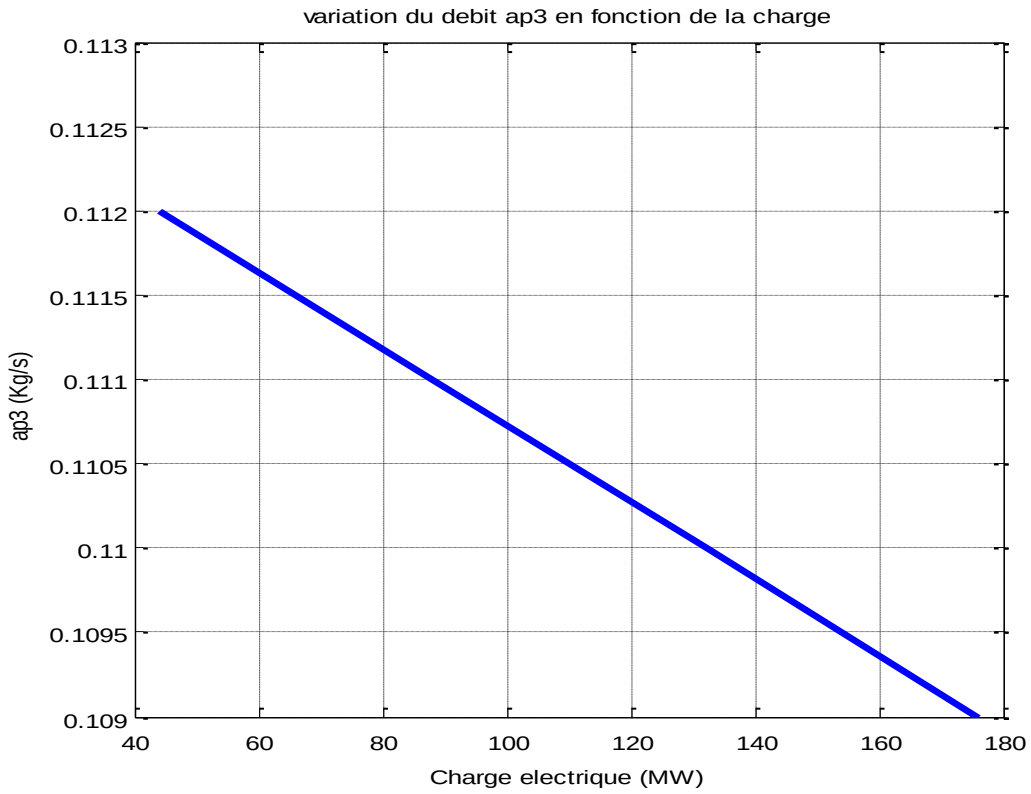


Figure III- 13: évolution du débit d'apport ap3 en fonction de la charge

L'équation du débit de l'apport ap3 en fonction du débit total est :

ap3=(3.8607*10^-8)*(qtot^2)-(3.4582*10^-5)*qtot+0.11321……(III.24)

- **Pour ap4 :**

ap4 = ap3…….(III.25)

- **Pour les fuites fd3, fg3, fd5, fg5, fd6, fg6 et ap5 :**

Fuites	fd3	fg3	fd5	fg5	fd6	fg6	ap5
Débit (Kg/s)	0.005	0.006	0.032	0.024	0.022	0.022	0.097

Ces fuites restent constantes quelle que soit la charge.

Le calcul des différents travaux, puissances et quantités de chaleur se fait avec les équations illustrées dans le (**chapitre 02**) et ceci en utilisant un programme de calcul pour différentes charges 100%, 75% et 50% **(annexe).**

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau de comparaison des résultats :

Régimes / Performances	100%	75%	50%
Charges MW	176	132	88
qtot Kg/s	145.34	104.717	69.555
Travail du corps HP (Whp) KJ/Kg	300.1	335.36	346.19
Travail du corps MP (Wmp) KJ/Kg	431.30	438.25	432.02
Travail du corps BP (Wbp) KJ/Kg	481.66	497.11	497.86
Travail total de la turbine (W_T) KJ/Kg	1213.1	1270.7	1276.1
Puissance totale de la turbine ou P. indiquée (Pi) MW	176.31	133.07	88.757
Puissance effective (Peff) MW	172.79	130.40	86.982
Puissance de l'alternateur (P) MW	171.06	129.10	86.112
Chaleur cédée par le condenseur (qcond) Kj/Kg	1494.20	1566.90	1653.40
Travail de la p.ext (Wp.ext) Kj/Kg	1.6850	2.0802	2.5821
Puissance des p.ext (Pp.ext) KW	244.89	217.840	179.60
Travail de la p.al (Wp.al) KJ/Kg	18.813	24.089	27.397
Puissance de la p.al (Pp.al) KW	2734.20	2522.5	1905.60
Chaleur cédée par BP1 (Qbp1) KJ/Kg	38.784	33.845	22.293
Chaleur cédée par BP2 (Qbp2) Kj/Kg	106.800	103.040	96.856
Chaleur cédée par BP3 (Qbp3) KJ/Kg	95.839	92.991	88.256
Chaleur cédée par la bâche (Q bâche) KJ/Kg	263.35	235.01	204.91
Chaleur cédée par HP5 (Qhp5) KJ/Kg	203.90	194.34	183.42
Chaleur cédée par HP6 (Qhp6) KJ/Kg	208.06	185.33	163.69
Puissance utile fournie par la chaudière (Pu) KW	$3.9730*10^5$	$2.9910*10^5$	$2.0431*10^5$

Régimes / Performances	100%	75%	50%
Chaleur fournie par la chaudière (Qc) KJ/Kg	2733.6	2856.30	2937.30
Puissance apportée par les V.R et le R.A.R (Pa) KW	242.0163	236.3190	230.6230
Puissance apportée par le combustible (Pc) KW	454.45	342.42	234.16
Puissance introduite (Pint) KW	$4.5469*10^5$	$3.4265*10^5$	$2.3439*10^5$
Rendement du cycle (ηcycle) %	36.48	36.39	35.40

Tableau III- 13 : la variation des performances en fonction de la charge

Les résultats du tableau III-13 sont représentés dans les figures suivantes :

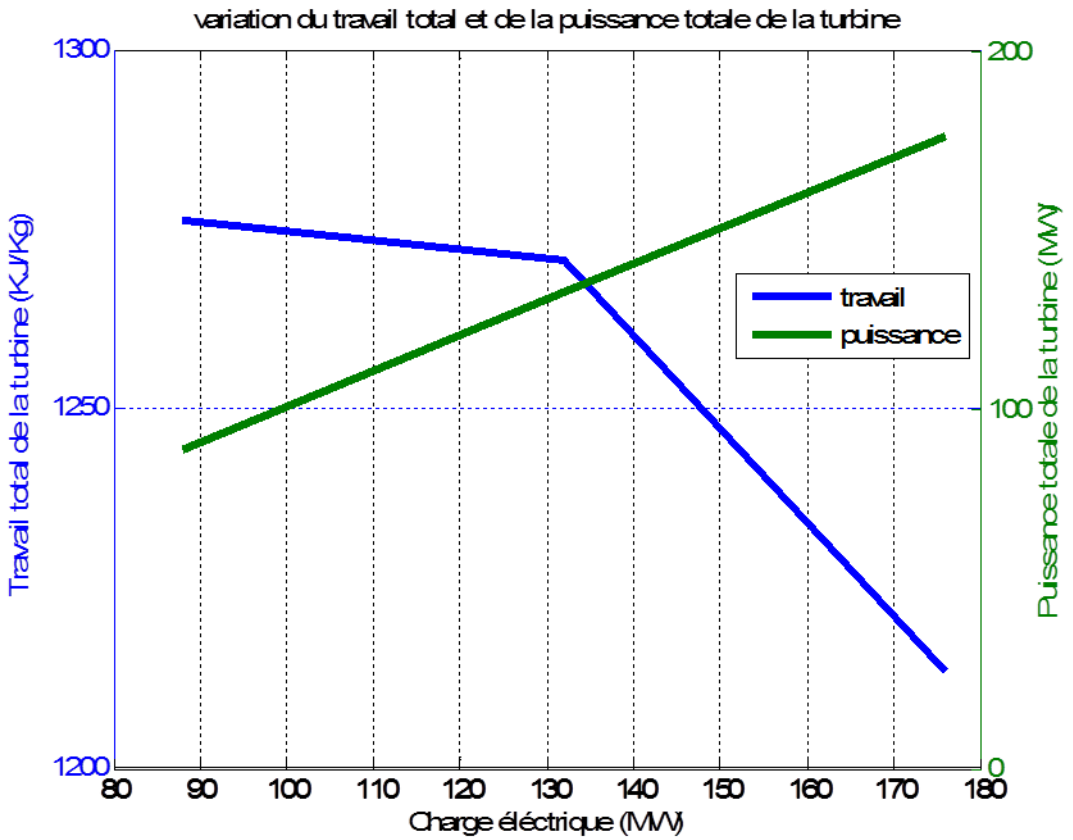


Figure III- 14: puissance totale et travail total de la turbine en fonction de la charge

On voit que la puissance totale de la turbine est proportionnelle à la charge. Du moment que la charge augmente la puissance produite par la turbine augmente. Inversement au travail total de la turbine, lorsque la charge augmente on voit que le travail diminue.

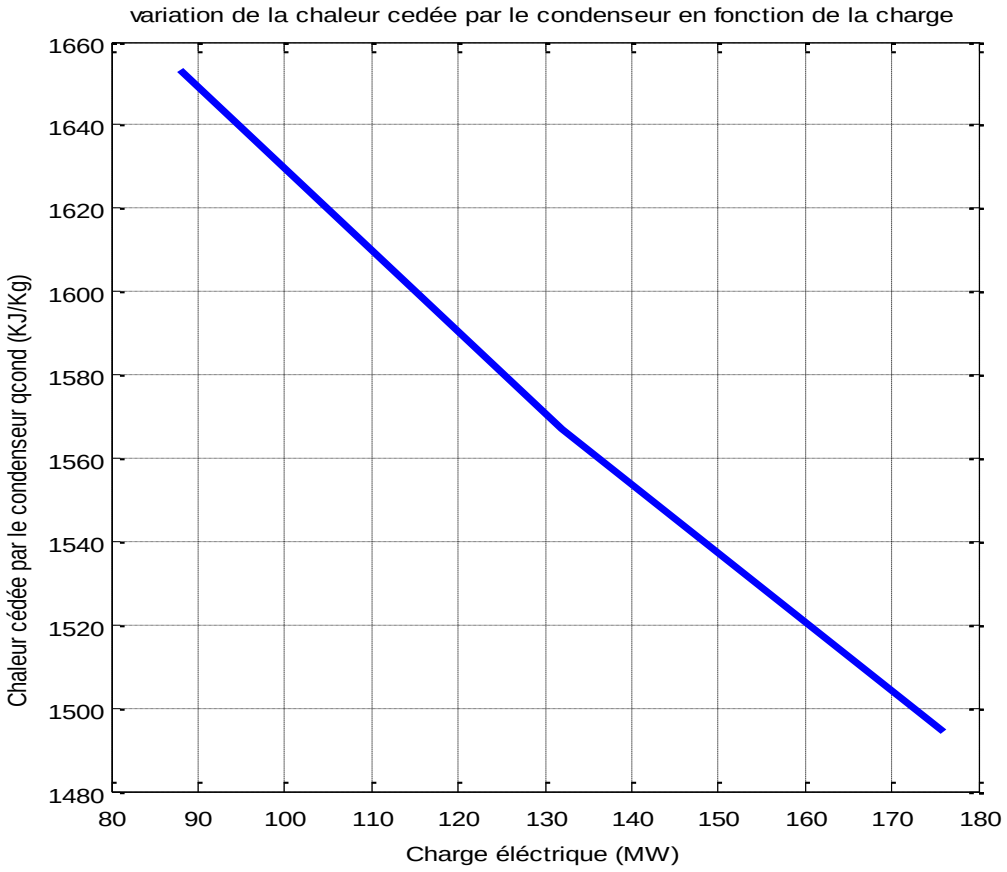


Figure III- 15: évolution de la chaleur cédée par le condenseur en fonction de la charge

D'après la figure ci-dessus on voit que la chaleur cédée par le condenseur est inversement proportionnelle à la charge. Lorsque la charge augmente, la chaleur cédée par le condenseur diminue.

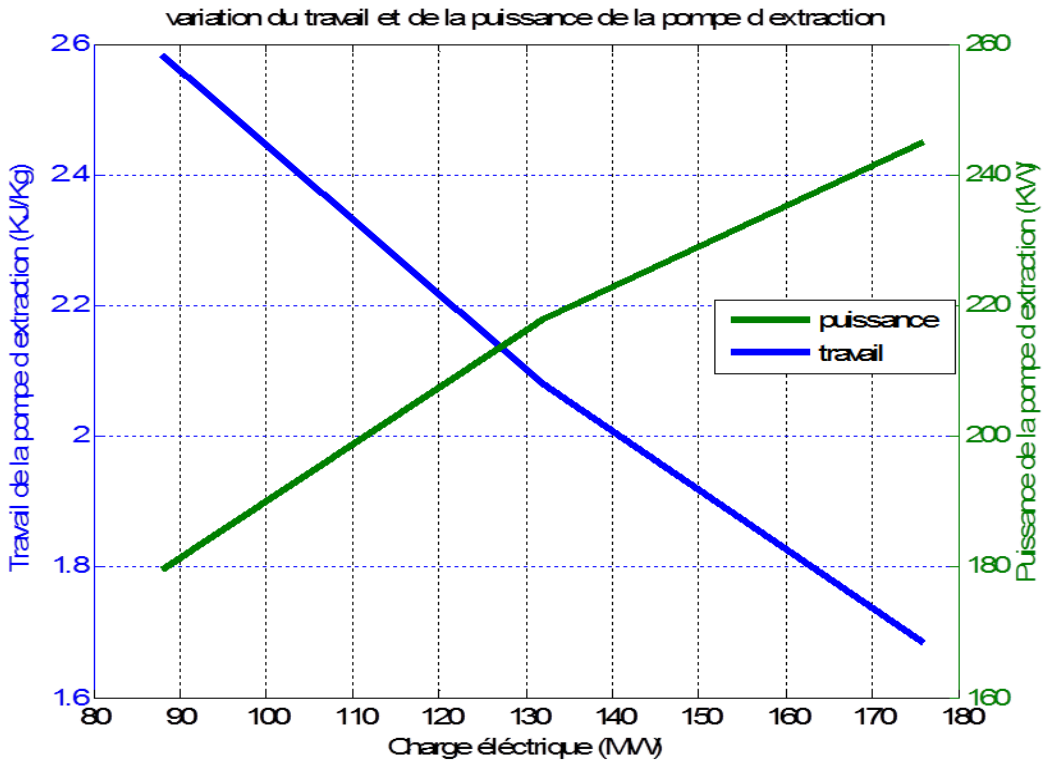


Figure III- 16: variation du travail et de la puissance de la pompe d'extraction en fonction de la charge

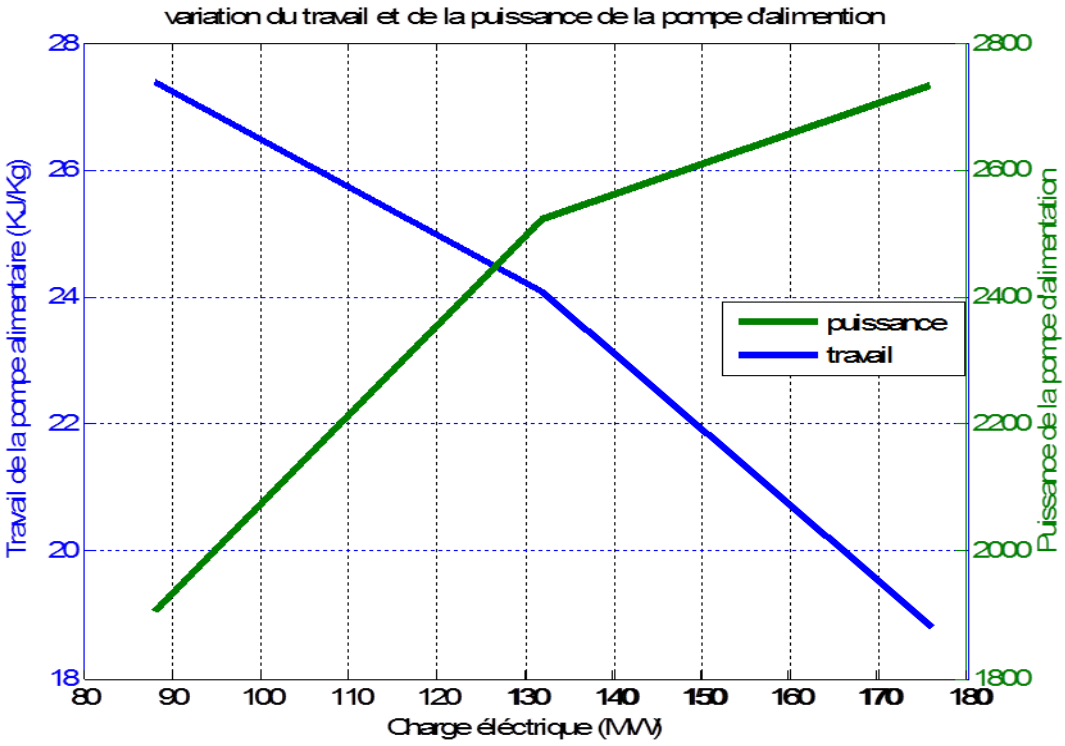


Figure III- 17: variation du travail et de la puissance de la pompe alimentaire en fonction de la charge

D'apres la figure III-16 on voit que le travail des pompes d'extraction est inversement proportionnel à la charge, lorsque la charge augmente le travail diminue. Contrairement à la puissance on voit que lorsque la charge augmente la puissance augmente aussi. De même pour la pompe d'alimentation.

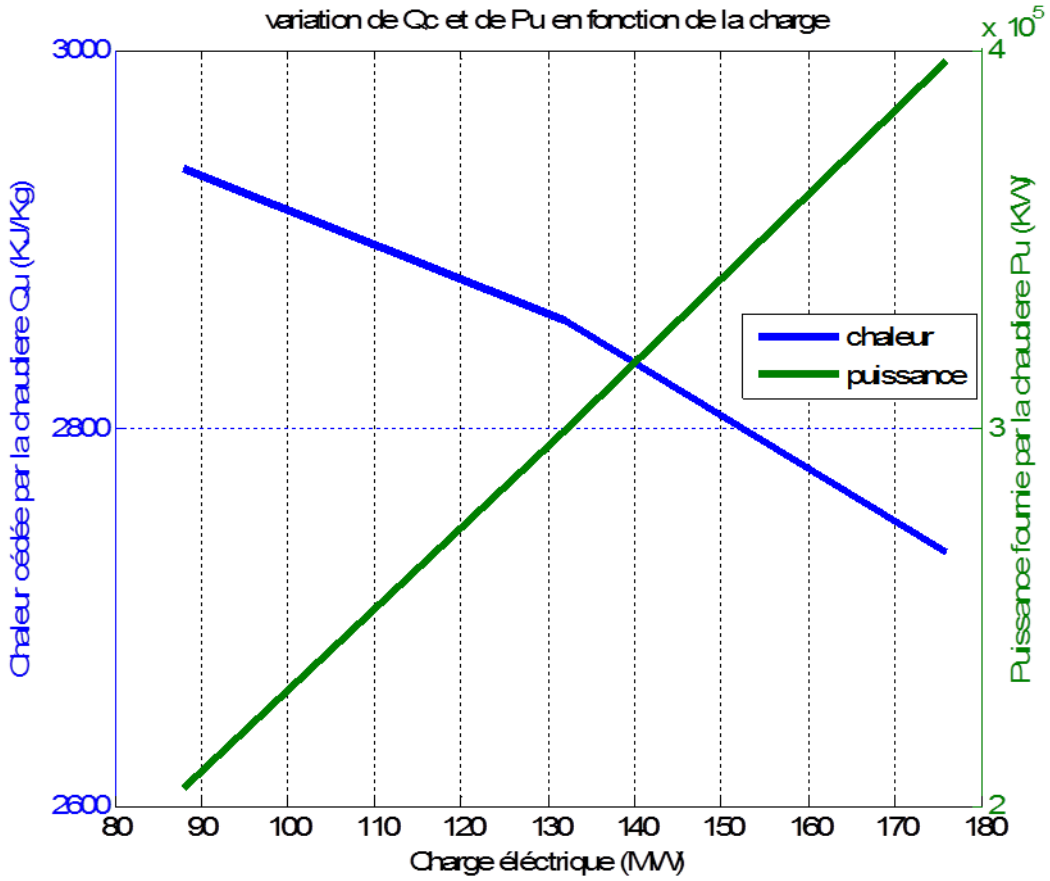


Figure III- 18 : variation de la puissance utile et de la chaleur utile en fonction de la charge

D'après la figure ci-dessous on voit que la chaleur cédée par la chaudière (chaleur utile) est inversement proportionnelle à la charge. Du moment où la charge augmente la chaleur utile diminue. Contrairement à la puissance qui est proportionnelle à la charge.

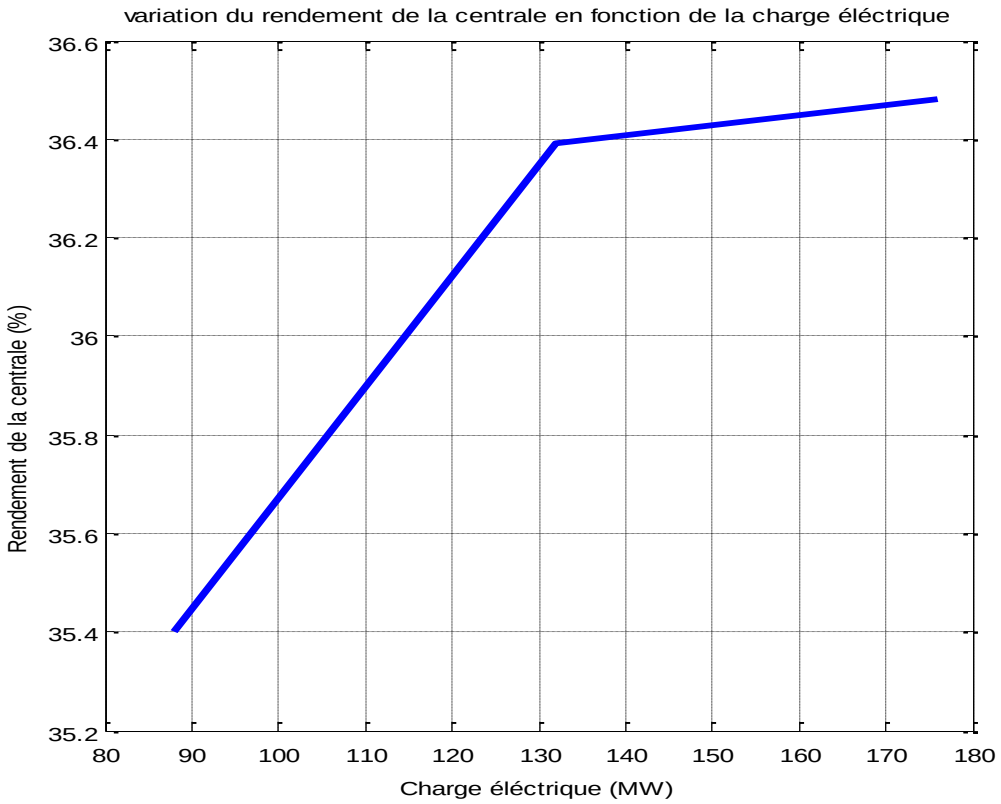


Figure III- 19: variation du rendement de la centrale en fonction de la charge

On voit dans cette figure que le rendement est proportionnel à la charge, lorsque la charge augmente le rendement augmente aussi.

I.3. Influence de la température de l'air ambiant :

Dans cette étape on a penché à une étude statistique-graphique des différents rendements au fil des années et à plusieurs périodes pour avoir une idée claire sur l'impact de la température de l'air sur le rendement global de la centrale.

Etude statistique de la chaudière [5]

années	Palier de charge (MW)	Température de l'air (°C)	Rendement chaudière (η)	Rendement de la centrale (%)
26.11.2002	160	18.5	88.43	37.6030
01.07.2003	160	26	86.16	36.6377
	138	27.5	86.75	36.7972
	85	22	86.43	36.7525
17.01.2004	160	16	85.34	36.2890
	138	19.5	85.59	36.3051
	85	23.5	86.5	36.7823

années	Palier de charge (MW)	Température de l'air (°C)	Rendement chaudière (η)	Rendement de la centrale (%)
30.07.2006	160	32.8	85.47	36.3443
	138	34	85.22	36.1482
11.11.2007	160	22.5	85.38	36.3060
	138	22.5	85.76	36.3772
	85	22.5	85.85	36.5059
22.04.2008	160	19	86.64	36.8418
	138	19	86.51	36.6954
	85	19	87.11	37.0417
27.10.2009	160	22	84.93	36.1147
	138	22	85.38	36.2160
	85	23	85.31	36.2763

Tableau III- 14: evolution du rendement en fonction de la temperature de l'air pour differents charges

Représentation graphique

Pour un palier de charge de 160MW

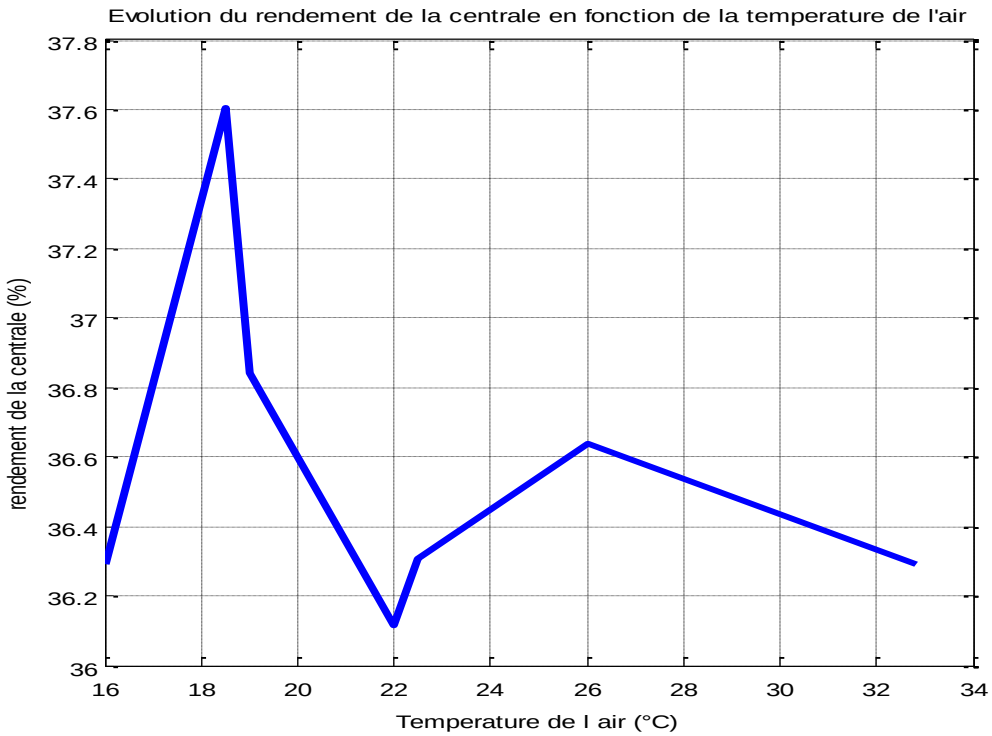


Figure III- 20 : évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de l'air pour un palier de charge de 160MW

D'après les résultats de l'étude statistique et graphique, nous constatons que le rendement de la centrale pour le palier de 160MW varie dans l'intervalle [36_38]%. Il augmente proportionnellement avec la température de l'air dans l'intervalle [16_18.5]°C et [22_26]°C par contre il diminue dans l'intervalle [18.5_22]°C et [26_32.8]°C.

Pour un palier de charge de 138MW

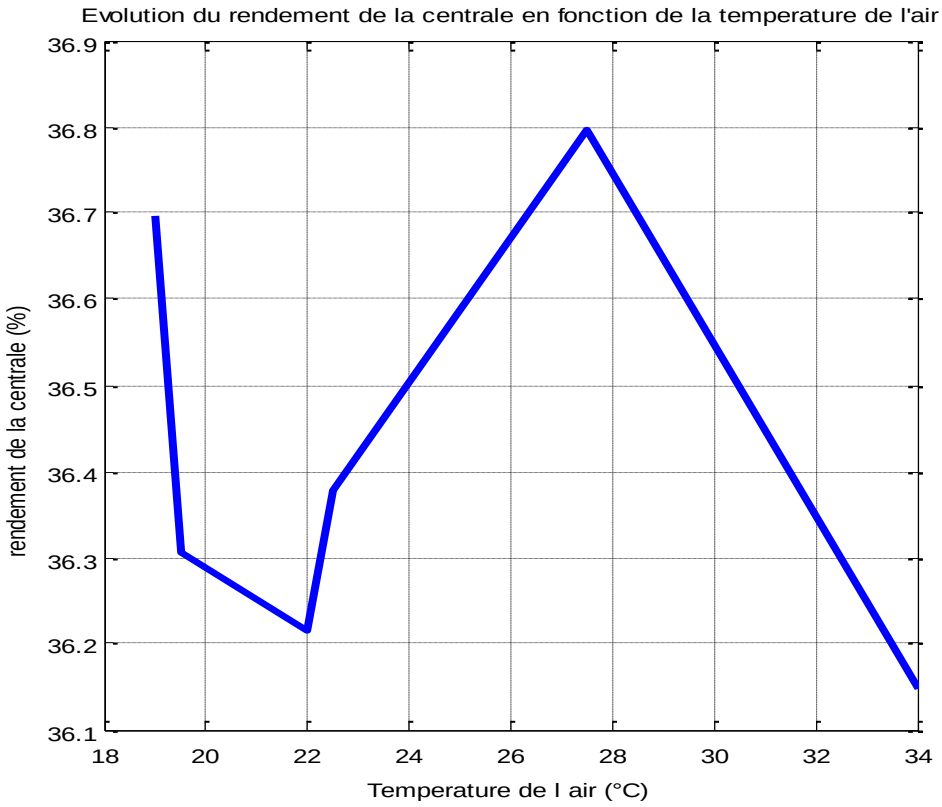


Figure III- 21: évolution du rendement de la centrale en fonction de la température de l'air pour un palier de 138MW

D'après les résultats de l'étude statistique et graphique, nous constatons que le rendement de la centrale pour le palier de 138MW varie dans l'intervalle [36_37]%. Il est inversement proportionnel à la température de l'air dans l'intervalle [18_22] °C. Il augmente proportionnellement avec la température dans l'intervalle [22_27.5]°C puis il diminue dans l'intervalle [27.5_34].

II. Interprétation des résultats :

II.1. La chaudière :

Cas de la variation de la charge

La chaleur utile est inversement proportionnelle à la charge, la chaleur transférée au fluide augmente si la charge diminue, et cela en raison du fait que la température de l'eau d'alimentation diminue, et d'après ce qu'on a vue dans la partie précédente, la chaleur cédée au niveau des réchauffeurs à haute pression diminue, donc il faut fournir plus de chaleur pour la vaporisation de l'eau, cette chaleur est appelée la chaleur latente de vaporisation.

La puissance introduite dans la chaudière varie avec la charge parce que le débit du combustible est proportionnel à de la puissance produite aux bornes de l'alternateur. La puissance apportée par les ventilateurs de recyclage augmente aussi avec l'augmentation de la charge (petite variation).

Conséquence de ces variations, le rendement de la chaudière prend le sens de variation de la charge, il est en fonction du rapport de la puissance utile et la puissance introduite, et il prend la valeur maximale pour la pleine charge.

Cas de la variation de la température de l'air

On constate que le rendement de la chaudière diminue légèrement au cours des années, et ça ne revient pas au fait que la température de l'air varie. Les quelques améliorations constatées de temps à autre, peuvent correspondre aux entretiens importants accomplis. Cependant nous attribuons cette baisse régulière aux points suivants :

- Le vieillissement naturel du matériel.
- Les changements intempestifs dans la charge qui engendrent des contraintes mécaniques et thermiques néfastes pour les différents organes.
- Les pannes successives des différents éléments.
- Les travaux de maintenance ne sont pas toujours assurés de façon régulière et méticuleuse.

II.2. La turbine

On voit bien que les travaux des trois corps de la turbine varient en sens inverse de la charge. Du moment que la charge diminue le travail des trois corps sera plus grand ce qui implique l'augmentation du travail total de la turbine à cause de :

- La température à l'entrée de la turbine est presque la même pour les trois régimes mais la température de sortie est différente :
  - La variation de la température pour le régime de 100% =502.1 °C
  - La variation de la température pour le régime de 75% =505.3 °C
  - La variation de la température pour le régime de 50% =505.2 °C

La différence de température augmente lorsque la charge diminue, ce qui implique que l'énergie calorifique qui est transformée en énergie mécanique augmente si la charge diminue.

- La pression à l'entrée de la turbine augmente si la charge diminue à cause de la fermeture des soupapes qui commandent sur le débit entrant de la turbine (04 soupapes)
  - Pour le régime 100% : les 04 soupapes sont ouvertes

- Pour le régime 75% : l'une des soupapes est fermée donc 03 soupapes qui sont ouvertes.
- Pour le régime 50% : 02 soupapes sont fermées et 02 sont ouvertes.

La différence de pression à l'entrée de la turbine et à la sortie est :

- Pour le régime de 100% = 138.15 bars
- Pour le régime de 75% = 148.639 bars
- Pour le régime de 50% = 154.965 bars

La détente dans le régime de 50% est mieux que dans 75% qui est lui-même mieux de celui de 100%, cela signifie que l'énergie de pression transformée en énergie cinétique dans les ailettes augmente si la charge diminue.

- La puissance produite diminue lors de l'augmentation du travail et cela revient à l'écart important entre les débits des différentes charges.

II.3. Le condenseur

On a constaté que la variation de la température de condensation influe sur le débit de fonctionnement et sur le rendement global de la centrale et ça revient au fait que la chute d'enthalpie diminue lorsque la température de condensation augmente. Donc pour améliorer les performances de la centrale il faut que la température de condensation diminue.

II.4. Les pompes

Le travail et la puissance des pompes ont les mêmes variations à celle de la turbine.

II.5. Les réchauffeurs

La chaleur échangée des trois réchauffeurs (BP, bâche alimentaire et HP) varie proportionnellement avec la charge.

La charge augmente, la chaleur transférée à l'eau d'alimentation augmente, cela est dû aux débits des soutirages et même à la quantité de chaleur transportée par les soutirages qui seront plus grand.

III. Amélioration du rendement

L'amélioration du rendement du cycle est la conséquence d'une augmentation de la chute d'enthalpie de la vapeur dans le cycle.

III.1.Diminution de la température de condensation

La détente de la vapeur dans la turbine se termine avec un mélange liquide – vapeur pour lequel il y a d'avantage d'eau dans la vapeur, la masse volumique du fluide augmente dans les derniers étages de la turbine. Si la section de sortie reste constante la vitesse d'échappement augmente et les pertes d'échappements aussi.

III.2.Augmentation de la pression d'entrée de la turbine :

L'augmentation de la pression à l'entrée de la turbine fait augmenter le titre du fluide à la sortie de la turbine et par conséquence la quantité d'eau dans la vapeur augmente, ce qui est défavorable pour la turbine.

III.3.Augmentation de la température maximum de la vapeur

La température maximum de la vapeur ne doit pas dépasser 600°C, sinon il sera nécessaire d'utiliser pour la turbine des alliages réfractaires.

Il existe par conséquent des limites à l'amélioration du rendement entre la température maximum et le titre minimum.

Conclusion générale

Pour faciliter le calcul répétitif du bilan, pour avoir une meilleure précision et surtout pour avoir un gain de temps important, nous avons élaboré deux programmes, le premier calcule le bilan énergétique des différents éléments du cycle, le second pour connaitre l'influence de la variation de la température de condensation sur le rendement de la centrale, grâce à ces programmes nous avons pu aboutir à des résultats en changeant d'abord la charge puis la température de condensation.

Les performances de la centrale s'améliorent avec l'augmentation de la charge et aussi avec la diminution de la température de condensation, mais comme l'énergie électrique n'est pas stockable, la puissance ne doit pas dépasser la demande car la différence ne peut pas être exploitée.

Tous les éléments sont liés entre eux, chaque élément achève le travail de l'élément en amont et prépare le travail de l'élément en aval, si le fonctionnement de l'un de ces éléments n'est pas correcte, le fonctionnement des autres éléments sera mis en cause.

Cette étude a été pour moi un grand champ d'application des connaissances théoriques que j'aie requis durant ma formation, par ailleurs elle m'a permis d'être au contact de la réalité industrielle.

Références

[1] : KWU, documentation de la centrale, service de formation professionnelle (Manuel technique).

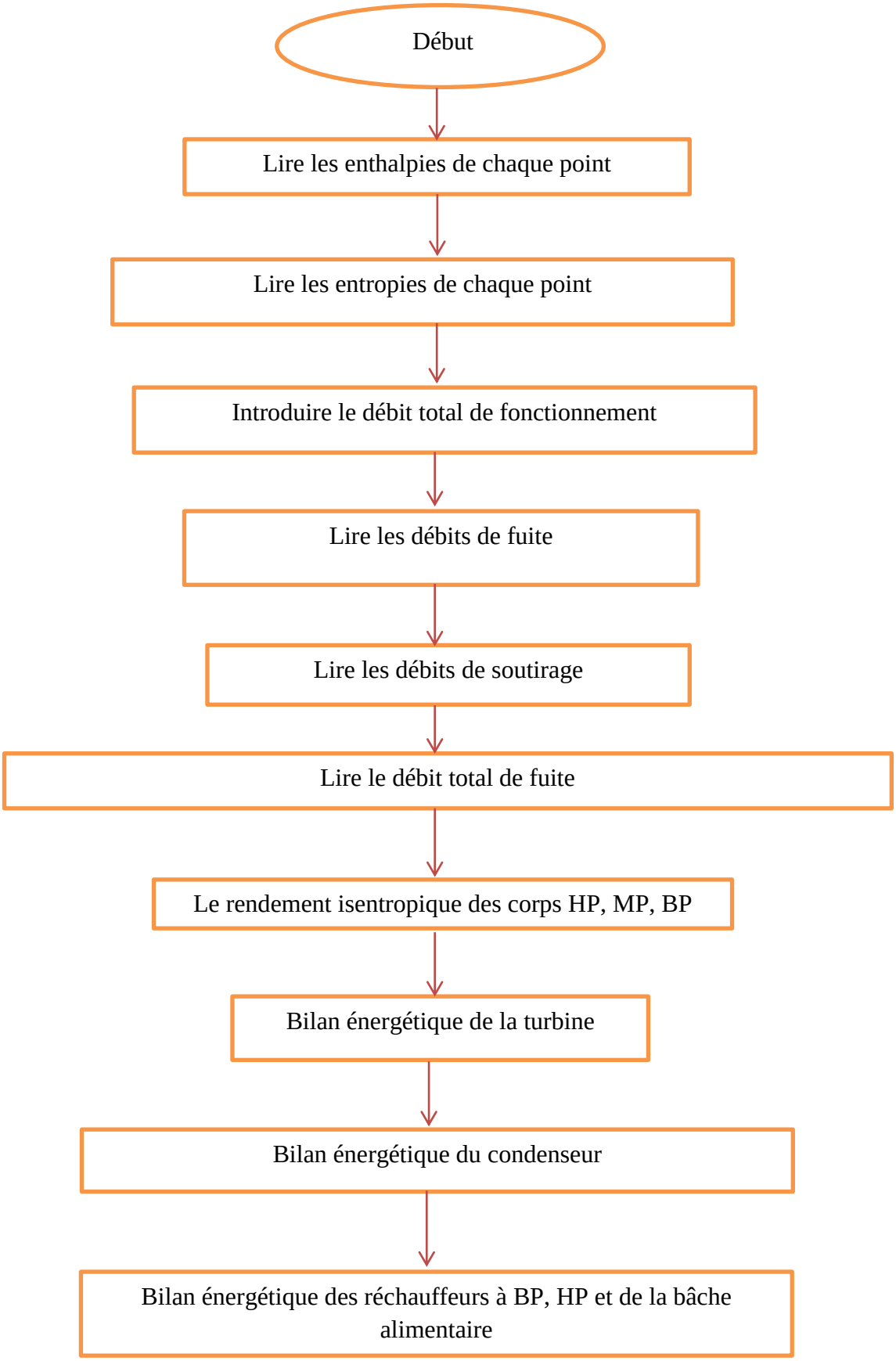
[2] : Mémoire de fin d'étude : TAHROUR Rezki, MEDANI Jugurtha, Promoteur : Mr BOUSSAAFEUR Kaci, thème : Impact d'une transformation en cycle combiné – Centrale thermique de Ras Djinet, 2006 /2007.

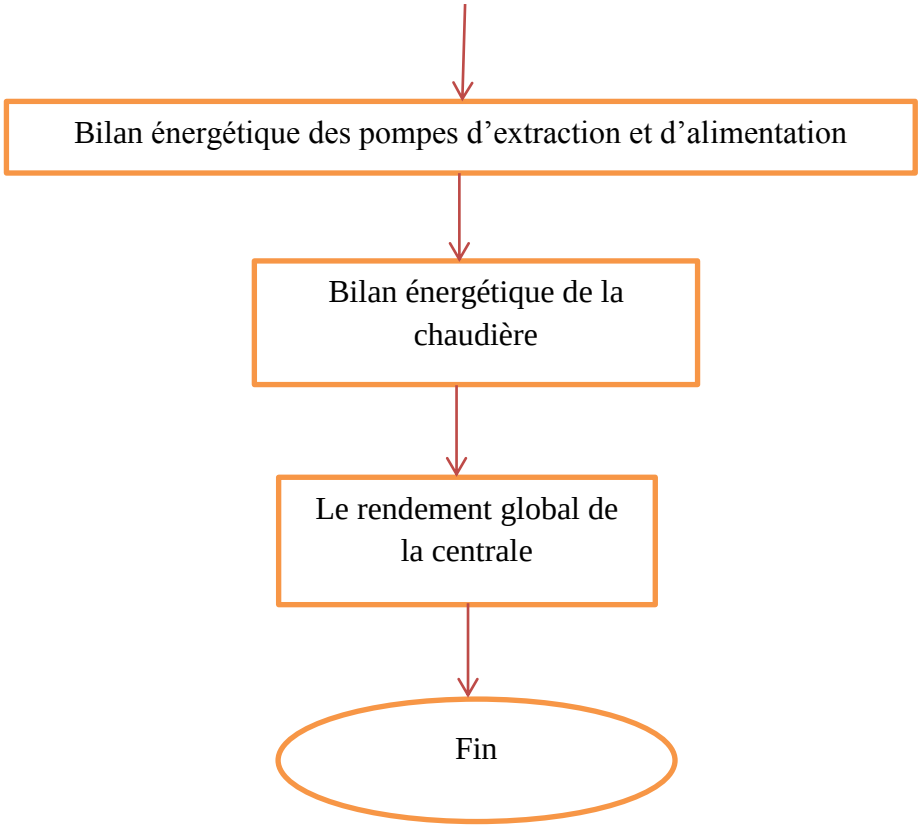
[3] : I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque, Département Génie Thermique et énergie, COURS DE THERMODYNAMIQUE 2eme Semestre, Olivier PERROT 2010-2010.

[4] : Influence of the degasification by ejector on the improvement of the expansion and efficiency of a thermal power station, Malek Hamzaoui, Mourad Balistrou, Adlane Larbi Bendaoud, 2014.

[5] : Service statistique de la centrale de CAP DJINET.

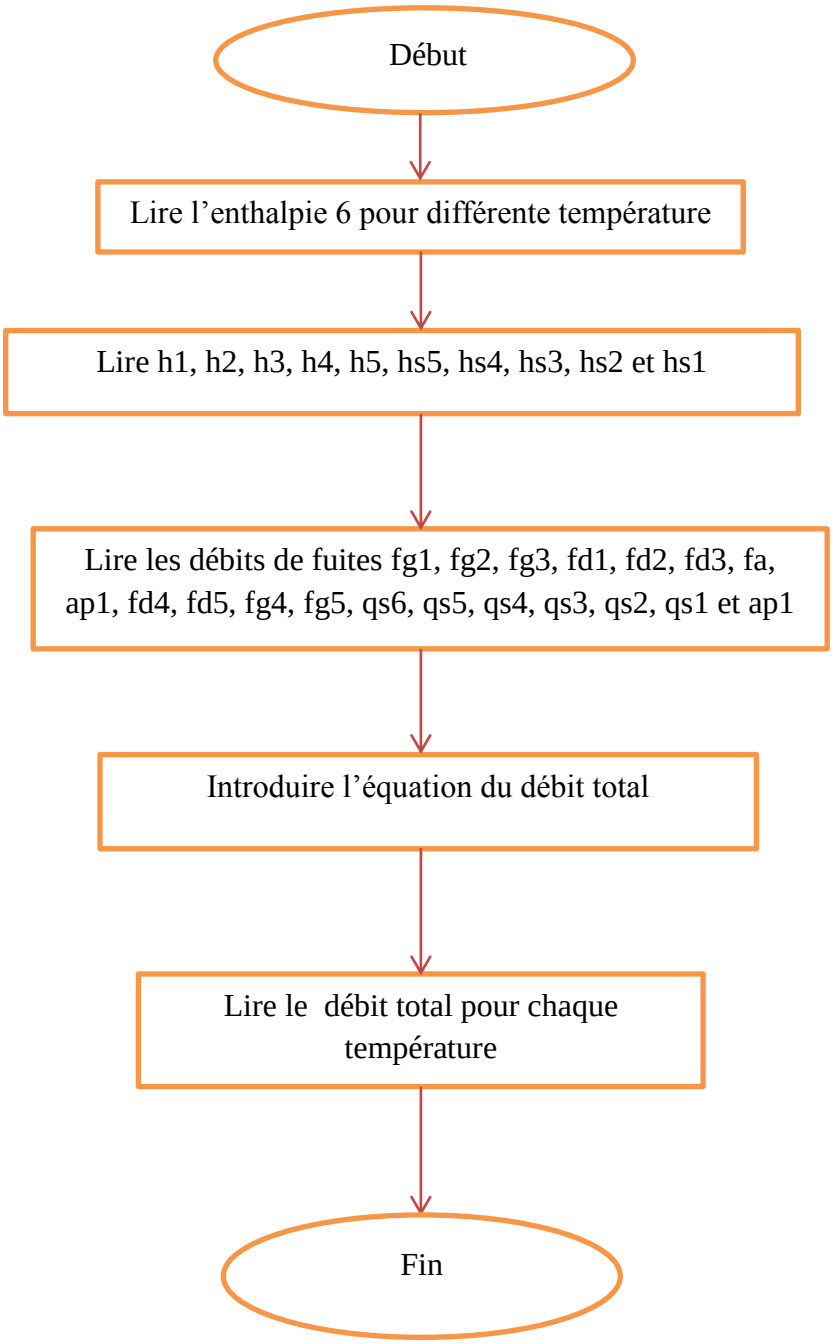
1. Organigramme de calcul en cas de la variation charge



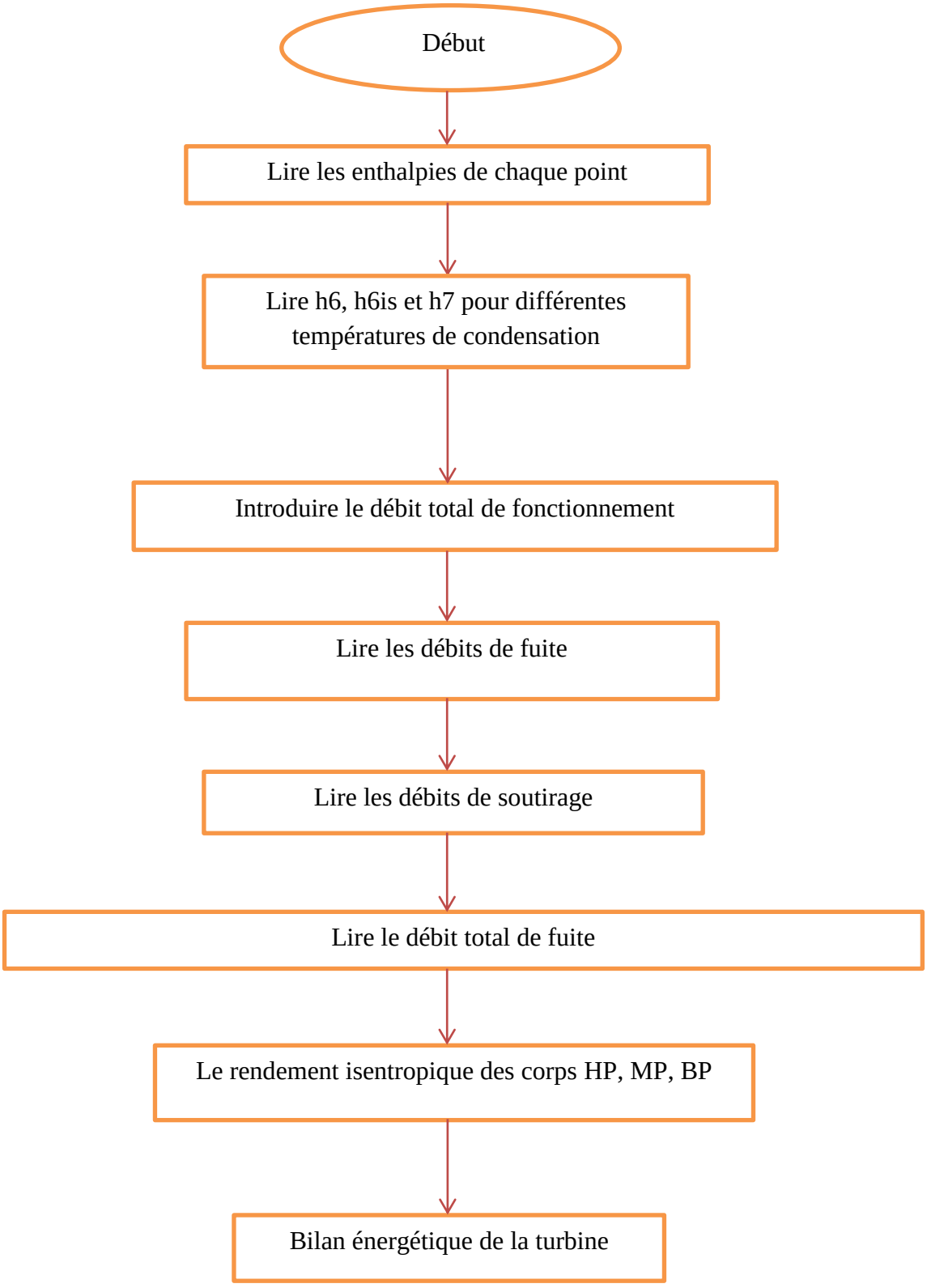

Bilan énergétique des pompes d'extraction et d'alimentation
Bilan énergétique de la chaudière
Le rendement global de la centrale
Fin

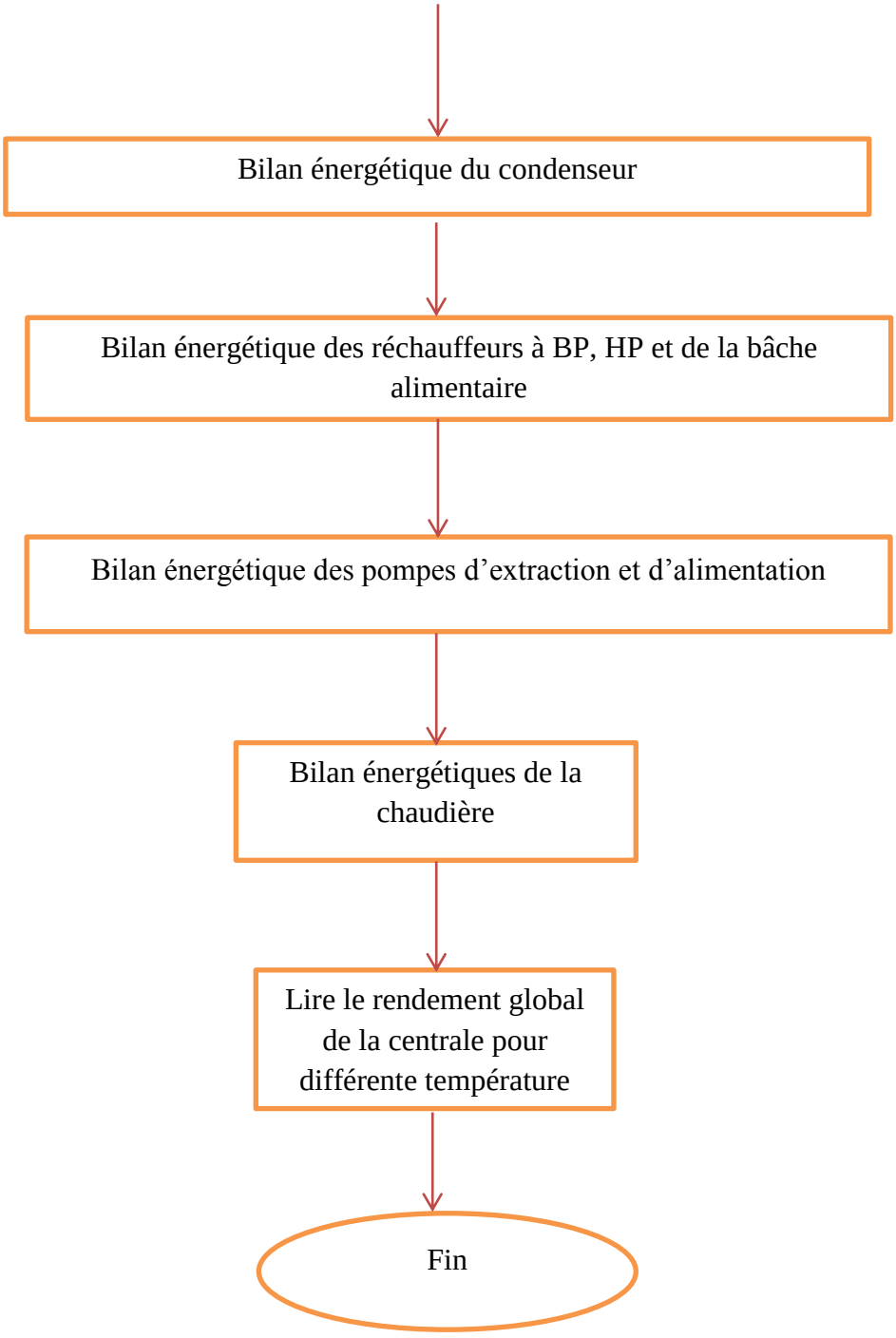
2. Organigramme de calcul en cas de variation de la température de condensation

2.1. Organigramme de calcul de l'influence de la température de condensation sur le débit de fonctionnement



2.2. Organigramme de calcul de l'influence de la température de condensation sur le rendement




Bilan énergétique du condenseur
Bilan énergétique des réchauffeurs à BP, HP et de la bâche alimentaire
Bilan énergétique des pompes d'extraction et d'alimentation
Bilan énergétiques de la chaudière
Lire le rendement global de la centrale pour différente température
Fin