



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Electromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique Industrielle

Thème :

Dimensionnement Et Etude de La Turbine
De L'UPCA

Présenté et soutenu publiquement par :

- SAIDANI Hani Abd Ennour
- GUETTAF Oussama

Encadreur:

Nom et Prénom	Grade	Etablissement
HAMMAMI ZINEB	M.C.B	IMSI-UNV/ORAN2

Année universitaire:

Juillet (2020/2021)



Remerciements

Tout d'abord nous rendons grâce à dieu qui nous a permis d'être portant afin d'effectuer ce travail du début jusqu'à la fin.

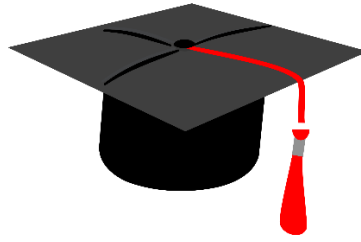
Nous tenons également à adresser nos remerciements à Notre encadreur Dr : HAMMAMI ZINEB qui nous a guidés avec ses orientations, ses précieux conseils, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

Nous remercions également les honorables membres de jury pour accepter de juger notre travail.

Nous exprimons nos profondes reconnaissances à tous les enseignants De l'"IMSI", et en particulier nos enseignants, pour le savoir qu'ils nous ont transmis, pour leur disponibilité et leur gentillesse durant notre formation.

Nous tenons sincèrement à remercier Nos parents, Nos familles, nos camarades, pour le soutien sans faille qu'ils nous ont apporté.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les Personnes qui ont participé de près ou de loin à la Réalisation de ce travail. Nous leurs sommes très reconnaissants.



Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

*Ma très chère mère, à mon père que j'adore et que nulle
Dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments,
Pour leur patience illimitée, leur encouragement*

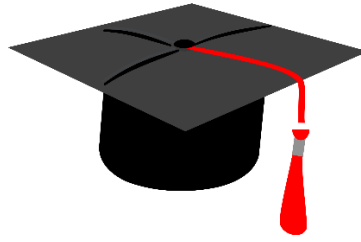
*Contenu, leur aide, en témoignage de mon profond
Amour et respect pour leurs grands sacrifices.*

*Mon frère, et mes sœurs, Que Dieu les donne longue vie et une bonne
santé.*

*Mes chers amis : Mohammed Hennouni, Riyadh marouche, Faouzi
Farhi, Mohammed Rabie*

*Je dédie enfin ce travail à tous ceux qui me sont chers, à tous mes
amis que j'aime et qui m'aiment.*

SAIDANI HANI ABD ENNOUR



Dédicaces

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie se modeste travail a :

Ma très chère mère, à mon père que j'adore, mes frères et sœurs.

*Pour tous les membres de ma famille qui m'a toujours soutenue et
Que Dieu les garde et protège.*

*Je dédie enfin ce travail à tous Mes collègues et chers amis qui m'a
toujours encouragé et que je les souhaite beaucoup de succès pour
l'avenir.*

GUETTAF OUSSAMA

Résumé

Résumé

Dans le cadre de la rénovation de l'unité pédagogique (UPCA) qui avait pour but de former des techniciens et des ingénieurs en pratiquant sur des équipements industriels au sein de l'ex-IAP (IMSI actuellement) et à partir des vieux ouvrages trouvés, on a pris l'initiative de déterminer et créer une bibliothèque qui pourra être utile pour rénover les unités à l'aide d'un partenaire socio-économique, ainsi que les étudiants dans le futur pour des éventuelles améliorations on a trouvé beaucoup de difficulté à collecter les données qui pourraient nous être utiles à redémarrer tout le matériel (chaudière, turbine, compresseurs, etc....), on a fait une modeste étude analytique pour définir le type de cycle ainsi que son rendement, Notre étude portait essentiellement sur l'étude de dimensionnement de la turbine "Coppus".

La recherche bibliographique dans le peu des vieux ouvrages de l'UPCA nous a été utile, pour établir des hypothèses et sortir avec des résultats.

Mot clé : UPCA, ex-IAP, cycle thermodynamique, cycle Rankine, Turbine "Coppus".

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste de figures

Liste des tableaux

Liste de nomenclature

I.1. Introduction générale :	1
chaiptr I : Généralités sur les turbines à vapeur	2
I.2. Les Centrales Thermiques :	2
I.2.1. Définition :	2
I.2.2. Historique des centrales thermiques :	2
I.3. Type des centrales thermiques :	3
I.3.1. Les centrales hydrauliques :	3
I.3.2. Les centrales marémotrices :	3
I.3.3. Les centrales géothermiques :	4
I.3.4. Les centrales solaires :	5
I.3.5. Les centrales nucléaires :	6
I.3.6. Les centrales thermiques à vapeur:	6
I.4. Le principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur :	8
I.4.1. Diffèrent composant d'une centrale thermique sont :	9
I.4.2. La chaudière :	9
I.4.3. Turbine à vapeur	10
I.4.4. Le Condenseur :	10
I.4.5. Les Pompes :	11

Sommaire

I.4.6. L'alternateur	12
I.4.7. Le transformateur :	12
I.4.8. Les équipements auxiliaires	13
I.5. Les différentes transformations énergétiques dans une installation motrice à vapeur :	13
I.6. Les cycles thermodynamiques des TAV	14
I.6.1. Cycle de Rankine	14
I.6.2. Le cycle de Hirn	17
I.6.3. Cycle Rankine à resurchauffe	18
I.6.4. Cycle de Rankine à un soutirage :	20
I.7. Théorie du Cycle de Rankine	21
I.7.1. Processus isentropique	23
I.7.2. Processus isobar	24
I.7.3. Efficacité thermique du cycle de Rankine	25
I.8. Conclusion:	25
Chapitre II : Les TAV et vue d'ensemble de l'UPCA	27
II.1. Introduction générale :	27
II.2. Différentes catégories des turbines :	27
II.3. Turbine à vapeur :	28
II.3.1. Le Principe de fonctionnement :	28
II.3.2. Historique :	28
II.3.3. Description de la turbine à vapeur :	28
II.4. Classification des turbines à vapeur	29
II.4.1. Selon le principe du travail :	30
II.4.1.1. La turbine à impulsion (ou à action)	30
II.4.1.2. La turbine à réaction.	33
II.4.1.3. Etude comparative	33
II.4.2. Selon la direction du courant de vapeur on peut distinguer :	34
II.4.2.1. Turbines axiales	34
II.4.2.2. Turbines radiales	35

Sommaire

II.4.3. Selon le mode de construction	35
II.4.3.1. turbine à un corps	35
II.4.3.2. turbine à plusieurs corps.	35
II.4.4. selon l'utilisation	35
II.4.4.1. Turbine à condensation :	35
II.4.4.2. Turbine à contre pression :	35
II.5. Turbine Coppus UPCA	36
II.5.1. La turbine:	36
II.5.2. Le régulateur de vitesse :	37
II.5.3. Déclencheur de survitesse :	38
II.6. La mise en service de la turbine :	39
II.6.1. La mise en virage de la turbine :.	39
II.6.2. Vérification de démarrage :	39
II.6.3. La mise en réchauffage :.	39
II.6.4. Arrêt normal d'une turbine :	39
II.6.5. Arrêt d'urgence :	39
II.6.6. le groupe turbo-alternateur et ses accessoires	40
II.6.7. Un alternateur	41
II.7. Conclusion	42
Chapitre III : Classement des équipements de l'UPCA	44
III.1 La création de l'IAP :	44
III.2 Description de l'unité 500	46
III.3 Les équipements composants de l'unité 500	46
III.3.1 Turbo-alternateur:	46
III.3.2 UNE TURBINE A VAPEUR	47
III.3.3 UN ALTERNATEUR	48
III.3.4 Chaudière:	49
III.3.5 Condenseur atmosphérique:	50
III.3.6 Ballon sécheur séparateur d'eau et de vapeur:	51
III.3.7 Tour de refroidissement :	52
III.3.8 les Pompes :	54

Sommaire

III.3.9 Armoire de contrôle et de protection pour l'alternateur :	55
III.3.10 Un groupe électrocompresseur :	56
III.4 La fiche technique unité « 500 »	57
III.5 Engineering Equation Solver (EES)	61
III.5.1 Aperçu	61
III.5.2 Caractéristiques de base	61
III.6 L'interprétation mathématique	64
Écoulement de la vapeur	64
Puissance et rendement	65
III.7 Conclusion	72
Conclusion Générale	73
Bibliographies	74

Liste des figures

Figure I.1. Machine à vapeur.	2
Figure I.2. Centrale hydraulique.	4
Figure I.3. Centrale marémotrice.	4
Figure I.4. Centrale géothermique.	5
Figure I.5. Centrale solaire.	6
Figure I.6. Centrale nucléaire.	6
Figure I.7. Centrale thermique à vapeur.	7
Figure I.8. Principe de production d'électricité dans les centrales à vapeur.	8
Figure I.9. Installation d'une turbine à vapeur.	9
Figure I.10. Bruleur avec un foyer d'une chaudière.	10
Figure I.11. Condenseur.	11
Figure I.12. Une pompe.	11
Figure I.13. Générateur d'électricité.	12
Figure I.14. Transformateur.	12
Figure I.15. Les équipements auxiliaires.	13
Figure I.16. Schéma d'un cycle de Rankine [9].	14
Figure I.17. Diagramme T.S de cycle de Rankine [10].	15
Figure I.18. L'effet des irréversibilités sur le cycle idéal de Rankine [10].	16
Figure I.19. Diagramme T.S de cycle de Hirn [11].	17
Figure I.20. Schéma de cycle à resurchauffe [9].	18
Figure I.21. Le cycle de Rankine à resurchauffe [10].	18
Figure I.22. Schéma de cycle de Rankine à soutirage [13].	20
Figure I.23. Diagramme T-s du cycle à un soutirage de vapeur [10].	20
Figure II.1. Différentes catégories des turbines.	27
Figure II.2. Étage de turbine à vapeur.	29
Figure II.3. Classification des turbines à vapeur.	29
Figure II.4. Turbine à action.	31
Figure II.5. Étage de turbine à action.	32
Figure II.6. Étages de turbine à réaction.	33
Figure II.7. Schéma décrivant la différence entre une turbine à impulsions et une turbine à réaction.	34
Figure II.8. Schéma décrivant la turbine coppus	37
Figure II.9. Schéma décrivant le régulateur de vitesse	38

Liste des figures

Figure II.10. Schéma décrivant le déclencheur de survitesse	38
Figure II.11. Schéma décrivant du groupe turbo-alternateur.	41
Figure II.12. Schéma décrivant l'alternateur	42
Figure III.1. Unité pédagogique de contrôle et application.	45
Figure III.2. plan de masse.	45
Figure III.3. Turbo-alternateur	46
Figure III.4. Schéma décrivant la turbine Coppus	47
Figure III.5. Une turbine a vapeur	47
Figure III.6. Une Chaudière à vapeur	49
Figure III.7. Chaudière à vapeur	49
Figure III.8. Condenseur atmosphérique	50
Figure III.9. Ballon sécheur séparateur d'eau et de vapeur	51
Figure III.10. Tour de refroidissement	52
Figure III.11. Tour de refroidissement	53
Figure III.12. les Pompes	54
Figure III.13. Armoire de contrôle et de protection pour l'alternateur	55
Figure III.14. Un groupe électrocompresseur	56
Figure III.15. Un groupe électrocompresseur	56
Figure III.16. Interface du générateur d'équations	67
Figure III.17. Tableau des données et résultats	68
Figure III.18. Différents points du cycle de l'unité 500	69
Figure III.19. Diagramme P-h	70
Figure III.20. Diagramme h-s	70
Figure III.21. Diagramme T-s	71
Figure III.22. Diagramme P-v	71

Liste des tableaux

Tableau III.1. La fiche technique unité 500	57
---	----

Nomenclature

w_p : Travail consommé par la pompe

w_t : Le travail produit par la turbine

q_H : La chaleur fournie par la chaudière

q_l : La chaleur évacuée (condensateur):

η_{th_R} : Le rendement thermique du cycle de Rankine

η_p : le rendement isentropique de la pompe

η_T : le rendement isentropique de turbine

w : Le travail net du cycle

m_v : Le débit massique de la vapeur soutirée de la turbine,

m : Le débit massique de la vapeur restante,

m : Le débit massique total

η_{th} : le rendement thermique du cycle à un soutirage

q_m : débit-masse

c_u : composante tangentielle

ΔH_f : la variation d'enthalpie dans l'aubage fixe

ΔH_m : la variation d'enthalpie dans l'aubage mobile

C : la vitesse absolue

W : la vitesse relative

P : Pression

T : Température

S : Entropie

H : Enthalpie

V : Volume

W_{net} : Travail net

Introduction générale

Le besoin de la production d'énergie électrique est apparu au début de 19 siècle, jour après Jour, ce besoin est devenu plus important avec l'évolution de la technologie et la démographie. Pour produire cette énergie, l'homme a poursuit plusieurs méthodes, en partant des centrales électriques hydraulique, thermique, éoliennes, nucléaire, géothermique et solaire, Le choix du type de l'énergie primaire utilisée par la centrale est déterminé par un calcul économique faisant intervenir les coûts d'investissement d'une part, et les coûts d'exploitation et d'entretien d'autre part

Les turbines à vapeur font partie des machines les plus utilisées dans la production de l'énergie utile. Ces machines thermiques fonctionnent suivant les cycles de puissance à deux phases. Par conséquent, l'étude des cycles constitue l'épine dorsale d'une exploitation rationnelle de ces machines.

Ce travail, à un intérêt purement pédagogique, on a fait une modeste étude analytique sur les cycles thermodynamique en général et le cycle Rankine en particulier ainsi que ses paramètres (le cycle de notre unité étude) en mettant aussi l'accent et la concentration de l'étude sur la turbine 'Coppus' et ses paramètres, et cela dans un cadre d'une rénovation de l'unité pédagogique UPCA.

Dans le premier chapitre nous procéderons donner quelques notions sur les centrales thermiques à vapeur ainsi que citer les différents cycles thermodynamiques des TAV tel que le cycle de Rankine simple et les modifications portée à ce cycle pour l'amélioration du travail net et rendement thermique des installations thermique à vapeur.

Dans Le deuxième chapitre on a essai de donner quelques notions sur les turbines à vapeur en général et une vue d'ensemble de turbine 'Coppus' de 'UPCA' et ses caractéristiques en particulier.

Le troisième chapitre est basé sur l'unité 500, sa Description, son équipement composant ainsi que son fonctionnement.

On a présenté les résultats (interprétation mathématique) obtenus par le programme (EES) à partir des paramètres (la pression, la température...) ainsi que les différents diagrammes

Introduction Générale

Chapitre quatre la concrétisation des résultats par (EES) : on a utilisé quelque donnée d'entrés (Pc, Pb, Tmax, rendement de la turbine) afin de calculer (l'enthalpie, l'entropie, travail) et par la suite déduire le rendement global de cycle).

I.1. Introduction :

La nécessité de la production d'énergie électrique est apparue au début de 19 siècle, jour après jour, cette nécessité est devenue plus importante avec l'évolution de la technologie et la démographie. Pour produire cette énergie, l'homme a poursuivi plusieurs méthodes, en partant des centrales électriques hydraulique, thermique, éoliennes, nucléaire, géothermique et solaire. Le choix du type de l'énergie primaire utilisée par la centrale est déterminé par un calcul économique faisant intervenir les coûts d'investissement d'une part, et les coûts d'exploitation et d'entretien d'autre part.

I.2. Les Centrales Thermiques :

I.2.1. Définition :

La centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur (charbon, gaz, fioul, biomasse ou déchets municipaux). La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur). Cette vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique contenue dans la vapeur en énergie mécanique de rotation, puis en énergie électrique grâce à une génératrice de courant [1].

I.2.2. Historique des centrales thermiques :

La première centrale électrique des États-Unis, la *Pearl Street Station*, est mise en service le 4 septembre 1882 par Thomas Edison³ dans le bas-Manhattan, ce qui permet de faire fonctionner l'éclairage électrique des bureaux du New York Times et d'autres bâtiments aux alentours de Wall Street. La centrale ne délivrant que du courant continu ne peut alimenter efficacement qu'un petit secteur géographique. Le premier générateur, baptisé « Jumbo », est bien moins efficace que ceux d'aujourd'hui : il a un rendement de 3 à 4 % de l'énergie du charbon utilisé. Quelques années plus tard, Edison voit cependant l'intérêt de la cogénération en utilisant l'excédent de chaleur produit par le générateur électrique pour chauffer les bâtiments.

Début XX^e siècle, toutes les centrales thermiques modernes emploient des machines à surchauffe à multiple expansions, compound en général et d'une puissance de 1 000 à 10 000 chevaux. À partir de 1 500 ou 2 000 chevaux, on emploie, dans un assez grand nombre de cas, la triple expansion, quelquefois la quadruple expansion. L'emplacement des centrales est choisi selon la proximité des voies ferrées approvisionnant en combustibles et la proximité du cours d'eau, nécessaires à

l'alimentation des chaudières et aux travaux de refroidissement du condenseur. L'encombrement des machines et le poids élevé de leurs divers organes deviennent un véritable gêne pour les grosses centrales, situées dans des emplacements souvent réduits et où le terrain est cher. C'est ce qui mène peu à peu à l'emploi des turbines à vapeur. Dans un premier temps, les deux systèmes coexistent⁴.

L'invention de la turbine à vapeur moderne en 1884 par Sir Charles Parsons rend disponible l'électricité bon marché et abondante, et révolutionne le transport maritime et la marine de guerre. Elle prend le pas sur la machine à vapeur, qui est détrônée. Le premier modèle est relié à une dynamo qui génère 7,5 kW (10 ch) d'électricité⁵. La démonstration complète de l'efficacité de la turbine est réalisée à Erbfeld en Allemagne, avec une unité de 1 000 kW. Sa licence est brevetée et sa turbine est améliorée peu de temps après par George Westinghouse. La puissance des turbines Parsons s'avère également extensible à grande échelle. Parsons a la satisfaction de voir son invention adoptée par toutes les grandes centrales de ce monde, et la taille des génératrices a augmenté depuis la première, de 7,5 kW jusqu'à des unités de 50 000 kW de capacité. Du vivant de Parson, la capacité de production d'une unité est multipliée par environ 10 000⁶. La base théorique et scientifique déjà très élaborée explique l'évolution de la turbine, contrairement à ce qui s'était passé pour la machine à vapeur⁷.



Figure I.1. Machine à vapeur.

Dix générateurs de 5 000 chevaux Westinghouse à l'Edward Dean Adams Power Plant à Niagara Falls. Première grande centrale électrique à courant alternatif à grande échelle au monde, construite en 1895.

Rendements d'échelle, processus de type *reverse salies* (mis en évidence par Thomas Parker Hughes), sont le moteur de l'innovation à partir des années 1890. La production et le transport de l'électricité exigent la mobilisation de quantités importantes et croissantes de capital pour fournir par ailleurs un bien non stockable. Il y a des avantages évidents à concentrer la puissance électrique. Le pari commercial de la *Niagara Falls Power Compagnie* sur la rivière Niagara, financée par des hommes d'affaires notables tels J. P. Morgan, John Jacob Astor IV, Lord Rothschild et W. K. Vanderbilt, consiste à prévoir que le courant produit ne servira pas seulement à l'éclairage de la ville de Buffalo, mais aussi à fournir de l'énergie électro-motrice à des industries qui s'implanteront à proximité de la centrale. L'International Niagara Commission de 1891, commandée par Edward Dean Adams et présidée par Lord Kelvin, acquis au courant alternatif, impose Westinghouse comme seul interlocuteur. Buffalo est alimentée en courant alternatif en 1896 et des établissements électrométallurgiques et électrochimiques s'implantent effectivement à Niagara Falls, tels Alcoa. Le nombre de moteurs électriques est de 16 900 en 1899, de 388 000 en 1909, la moitié d'entre eux fonctionnant à l'aide de courant alternatif⁷.

Six années après la première centrale d'Edison, les travaux sur le courant alternatif de Nikola Tesla permettent de transporter le courant électrique à bien plus grande distance que le courant continu grâce à l'alternateur et au transformateur^{N 4} et aux lignes hautes tension, et donc de limiter le nombre de centrales nécessaires, mais aussi de réduire les pertes en ligne ohmiques tout en utilisant moins de cuivre qu'avec une ligne basse tension [2].

I.3. Type des centrales thermiques :

I.3.1. Les centrales hydrauliques :

Dans les centrales hydrauliques, on transforme l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique. Cette énergie est ensuite convertie successivement en énergie mécanique par la turbine, puis en électricité par l'alternateur couplé à la turbine. Suivant l'importance de la réserve d'eau du barrage de l'usine, on distingue les centrales au fil de l'eau, les centrales d'écluse et les barrages de lac [3].

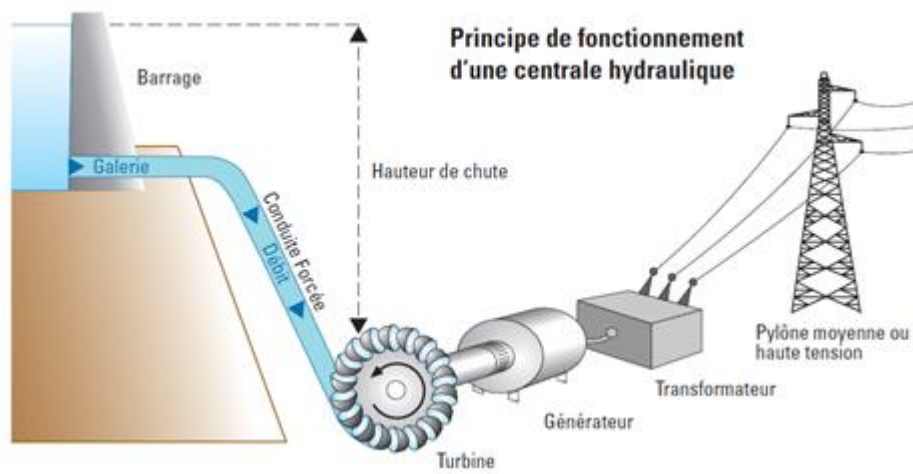


Figure I.2. Centrale hydraulique.

I.3.2. Les centrales marémotrices :

Les centrales marémotrices utilisent l'énergie des marées grâce à des groupes turbine-alternateur (du type bulbe) pouvant fonctionner dans les deux sens (flot et jusant). Ces groupes peuvent également fonctionner en motopompe, de façon à remonter de l'eau dans l'estuaire aux heures creuses, afin de la turbiner aux heures de forte consommation. En raison de son coût d'investissement élevé, la construction de ce type de centrales est restée limitée à quelques exemplaires, dont l'usine de la Rance, en France, est l'exemple le plus connu [3].

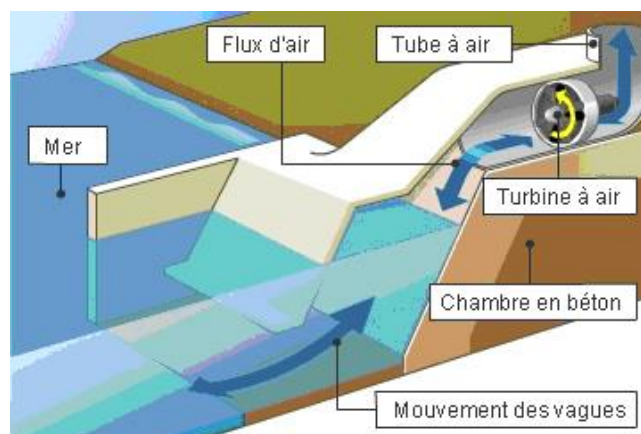


Figure I.3. Centrale marémotrice.

I.3.3. Les centrales géothermiques :

Les centrales géothermiques sont des centrales thermiques qui utilisent, comme source de chaleur, l'énergie thermique à haute température de l'écorce terrestre, résultant de l'activité volcanique. Les sites favorables sont peu abondants. La puissance installée est relativement modeste (quelques dizaines de MW), à l'exception de quelques usines implantées dans des sites remarquables, comme Larderello (365 MW) en Toscane (Italie), exploitée dès le 19^{ème} siècle [3].

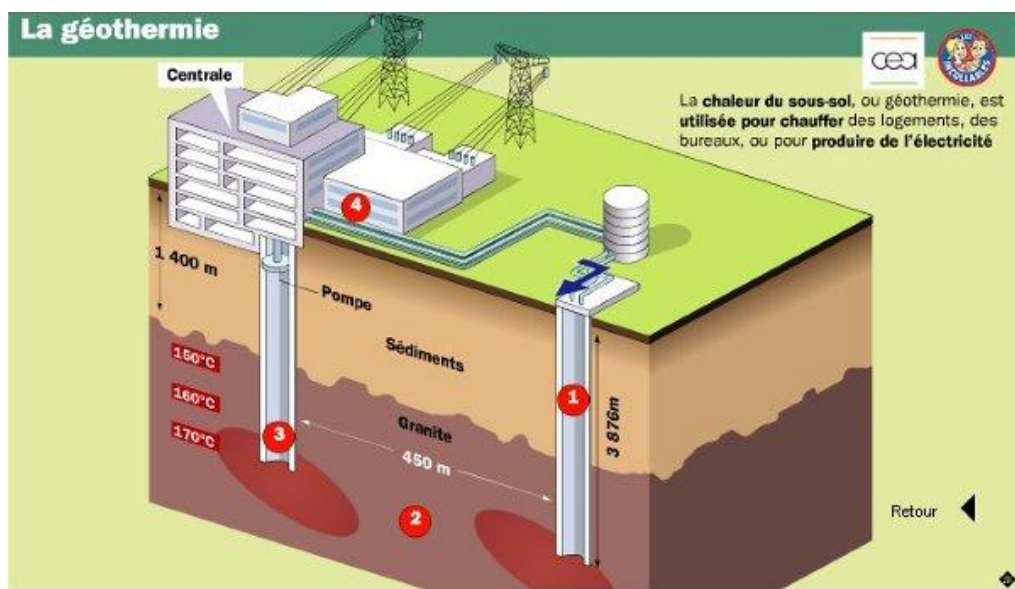


Figure I.4. Centrale géothermique.

I.3.4. Les centrales solaires :

La source thermique des centrales solaires est constituée par le rayonnement solaire, qui est concentré par de nombreux miroirs mobiles sur une chaudière placée au sommet d'une tour [3].

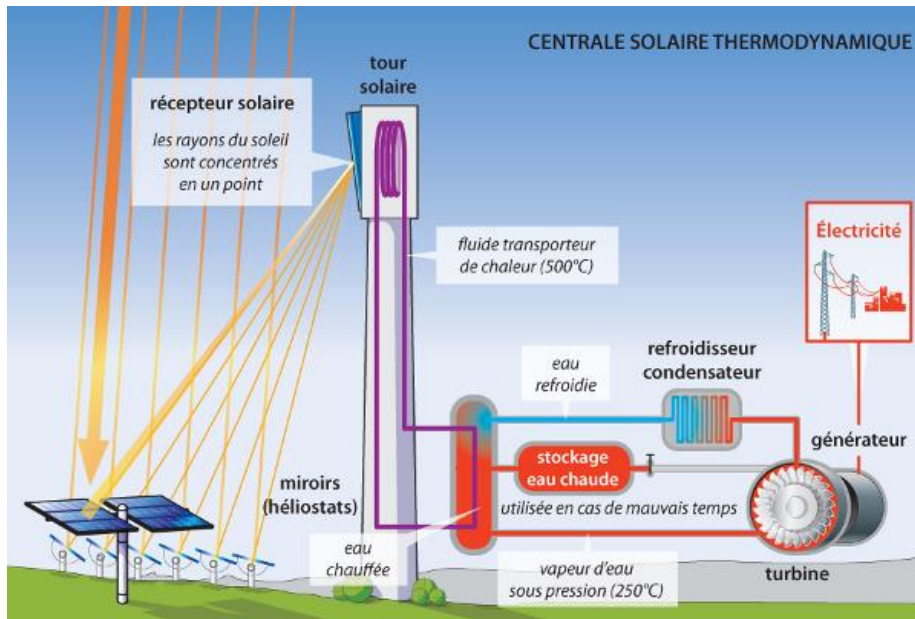


Figure I.5. Centrale solaire.

I.3.5. Les centrales nucléaires :

Les centrales nucléaires sont également des centrales thermiques, dont la source de chaleur a pour origine la réaction nucléaire de fission. Par analogie avec les usines thermiques brûlant des combustibles fossiles, on parle de « chaudières » nucléaires dont le réacteur « brûle » du « combustible » nucléaire (uranium 235 ou plutonium) [3].

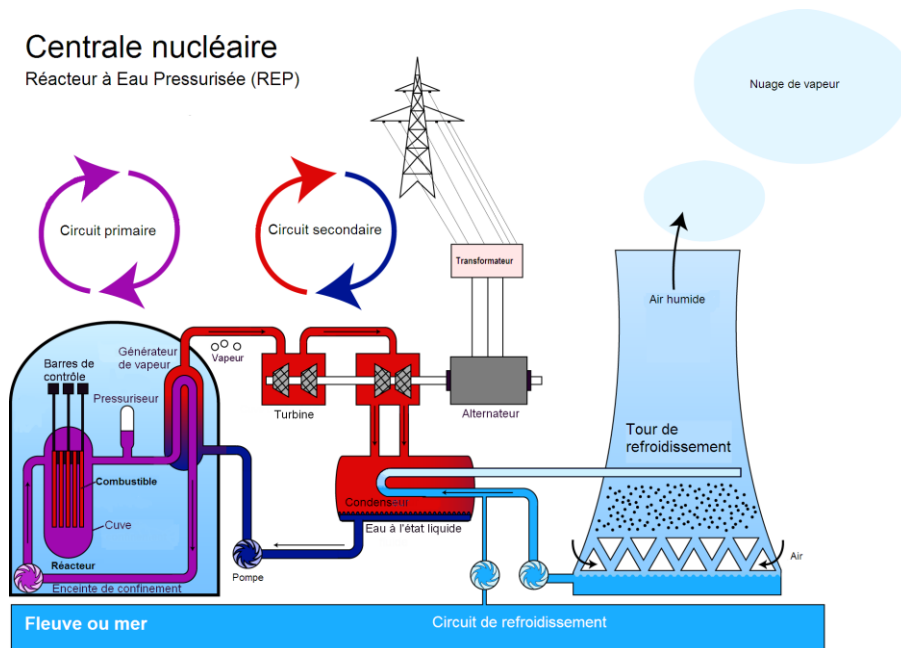


Figure I.6. Centrale nucléaire

I.3.6. Les centrales thermiques à vapeur :

Une centrale thermique se compose principalement d'une chaudière et d'un groupe turboalternateur. La chaudière produit de la vapeur en brûlant un combustible solide, liquide ou gazeux. L'énergie thermique de la vapeur est convertie en énergie mécanique, puis en énergie électrique par le groupe turboalternateur [3].

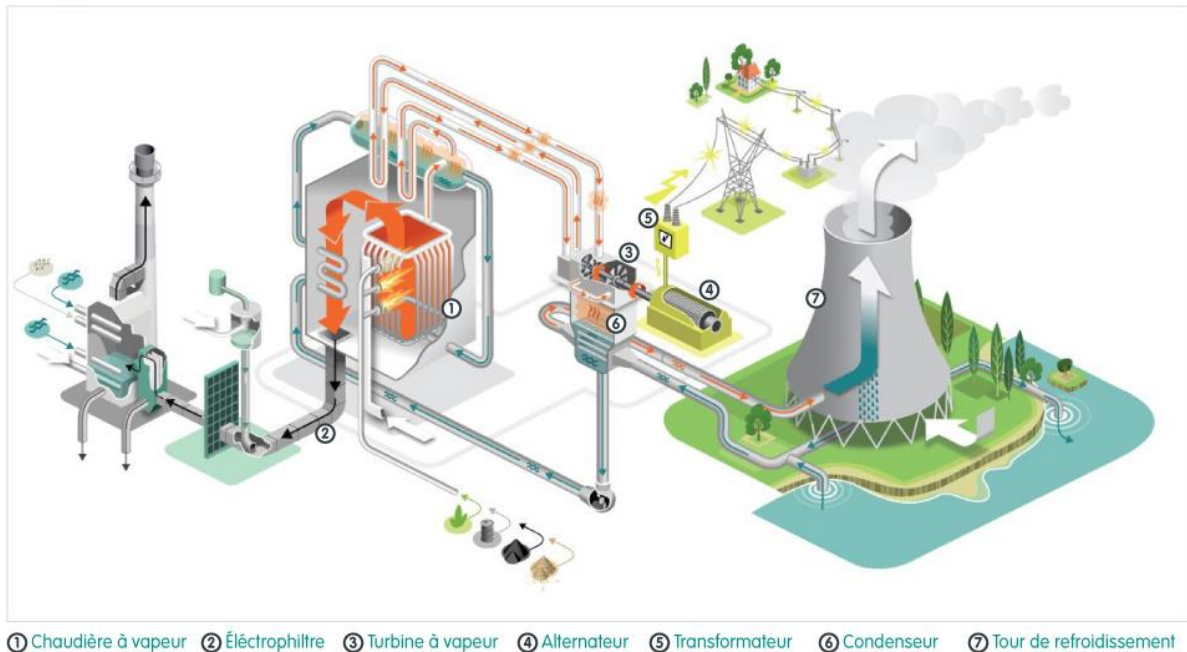


Figure I.7. Centrale thermique à vapeur.

Les centrales thermiques à vapeur jouent un rôle central dans l'approvisionnement en énergie électrique. En plus de la production d'électricité, une partie de la chaleur produite par les centrales thermiques à vapeur est parfois utilisée pour alimenter le chauffage urbain. Le cycle de vapeur selon Clausius-Rankine est aujourd'hui encore l'un des cycles les plus importants et les plus répandus dans l'industrie. Dans une centrale thermique à vapeur, une turbine à vapeur entraînée par de la vapeur produit de l'énergie mécanique. Cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique dans des générateurs. La vapeur requise peut être produite p.ex. au moyen d'énergie nucléaire, de combustibles fossiles, d'énergie solaire ou par géothermie. Grâce à des optimisations de processus, le rendement de la production d'énergie électrique n'a cessé d'augmenter ces dernières années. Le rendement global actuel est proche de 45% [4].

I.4. Le principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur :

Le fonctionnement d'une TAV dans une centrale thermique est assez Simple : l'énergie calorifique produite au niveau de la chaudière (à partir de combustibles fossiles par exemple) est transmise à de l'eau. Sa température augmente, elle se vaporise et sa pression augmente considérablement (510°C et jusqu'à 76 bars dans notre cas). Cette vapeur à haute pression est canalisée vers les turbines ou elle se détend. L'énergie de pression qui est en fait une énergie cinétique est convertie en énergie mécanique dans les aubes du rotor qui entraîne un arbre couplé à un alternateur. On recueille l'énergie électrique à la sortie de l'alternateur par le simple principe de la variation du champ magnétique. C'est cette énergie électrique qu'il faudra garder stable à travers sa fréquence : ceci. En jouant par le biais d'un système de régulation sur le débit de vapeur entrant dans la turbine afin d'adapter la vitesse de celle-ci, donc celle de l'alternateur aux variations de la fréquence [5].

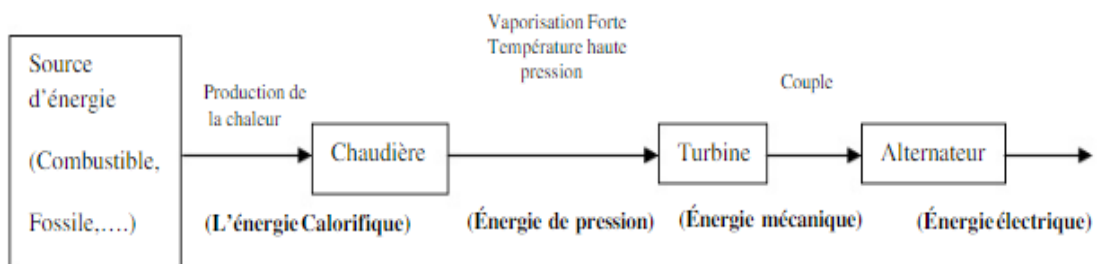


Figure I.8. Principe de production d'électricité dans les centrales à vapeur.

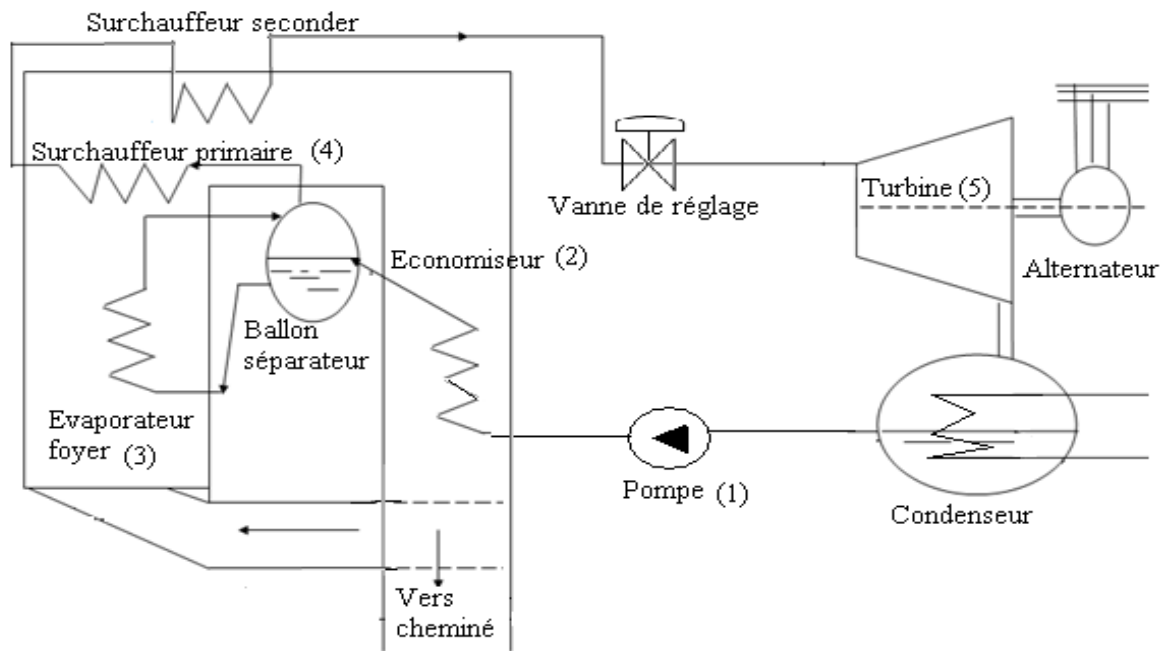


Figure I.9. Installation d'une turbine à vapeur.

I.4.1. Différent composant d'une centrale thermique sont :

- chaudière à vapeur
- turbines à vapeur
- condenseurs
- pompes
- L'alternateur
- Le transformateur.

I.4.2. La chaudière :

La chaudière appelée aussi le générateur de vapeur a pour rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur surchauffée à haute température en vue d'alimenter le group turboalternateur.

Si on veut obtenir de la vapeur surchauffée (fonctionnement normal), il suffit de positionner les vannes de manière à diriger la vapeur à surchauffer depuis le manifold jusqu'à la surchauffeur. Si l'on désire se servir de la vapeur saturée, la surchauffeur doit être shuntée. Dans ces conditions, il est prévu de refroidir la surchauffeur en faisant circuler de l'eau froide, dérivée du circuit de la

tour de refroidissement, à l'intérieure de la surchauffeur.

Le manifold sert de séparateur d'eau liquide et d'eau vapeur pour alimenter la surchauffeur en vapeur sèche. Les gouttelettes en suspension véhiculées par la vapeur depuis le générateur de vapeur saturée se déposent au manifold du fait du ralentissement provoqué par l'élargissement de section. Cette eau liquide est évacuée automatiquement par un purgeur [6].



Figure I.10. Bruleur avec un foyer d'une chaudière.

I.4.3. Turbine à vapeur

Une turbine à vapeur est un dispositif rotatif destiné à utiliser l'énergie cinétique d'un fluide liquide comme l'eau ou gazeux (vapeur, air, gaz de combustion), pour faire tourner un arbre solidaire des pales de la turbine.

L'énergie du fluide, caractérisée par sa vitesse et son enthalpie, est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur, une pompe ou tout autre récepteur mécanique rotatif [6].

I.4.4. Le Condenseur :

Le condenseur est un échangeur à contre-courant, c'est-à-dire que l'eau provenant de la tour de refroidissement circule en sens inverse de la vapeur. Le condenseur fonctionne normalement sous vide. Pour éviter toute surpression au condenseur, il dispose d'une soupape de sécurité [6].

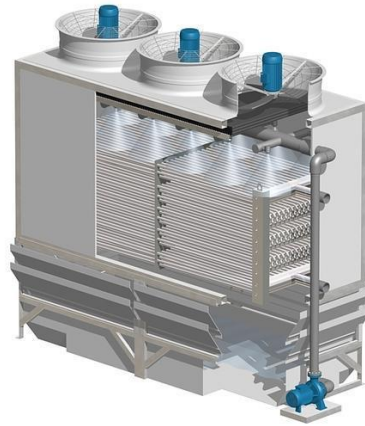


Figure I.11. Condenseur.

I.4.5. Les Pompes :

Il y a quatre types de pompes électriques différentes.

- La pompe d'alimentation en eau de la chaudière fonctionne continuellement dès la mise en marche.
- La pompe d'extraction, des condensats sont commandés manuellement ou automatiquement grâce aux détecteurs de niveau (interrupteurs à flotteur) du bac à condensats.
- La pompe à vide est mise en route manuellement. En marche normale, elle fonctionne continuellement. C'est une pompe à anneau liquide qui nécessite une alimentation faible, mais continue en eau.
- La pompe de refroidissement qui assure la circulation de l'eau dans la boucle de la tour de refroidissement et de condenseur, est mise en marche manuellement et fonctionne-t-elle aussi continuellement marche normale [6].



Figure I.12. Une pompe.

I.4.6. L'alternateur

C'est un générateur d'électricité. Il sert à transformer l'énergie mécanique produite par l'arbre de la turbine en énergie électrique. Le courant électrique créé est un courant alternatif [6].



Figure I.13. Générateur d'électricité.

I.4.7. Le transformateur :

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme [6].



Figure I.14. Transformateur.

I.4.8. Les équipements auxiliaires

Il y a autre élément généralement appelé auxiliaires qui remplissent des fonctions nécessaires bien que secondaires par apport aux éléments majeurs décrits précédemment [6].

- 1— Des soupapes de sécurité qui s'ouvrent pour laisser passer la vapeur.
- 2— Des soupapes de régulation.
- 3— Des clapets anti-retour.
- 4— Des filtres.
- 5— Des vannes de réglage.



Figure I.15. Les équipements auxiliaires.

I.5. Les différentes transformations énergétiques dans une installation motrice à vapeur :

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

1. Dans la chaudière : Transformation de l'énergie contenue à l'état latent dans le combustible (énergie chimique) en énergie calorifique.
 - Énergie chimique → Énergie calorifique
2. Dans la turbine : Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.
 - Énergie calorifique → Énergie mécanique
3. Dans l'alternateur : Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.
 - Énergie mécanique → Énergie électrique

I.6. Les cycles thermodynamiques des TAV

I.6.1. Cycle de Rankine

Le cycle de Rankine peut être considéré comme le cycle de base des turbines à vapeur. Il est constitué par deux transformations isobares (Pression constante) et deux transformations isentropiques (entropie constant).

Un cycle classique de Rankine élémentaire comprend une pompe de circulation, une source de chaleur (générateur de vapeur, foyers, etc.), une turbine pour la conversion de l'énergie thermique en énergie cinétique de rotation, et un condenseur comme source froide [7].

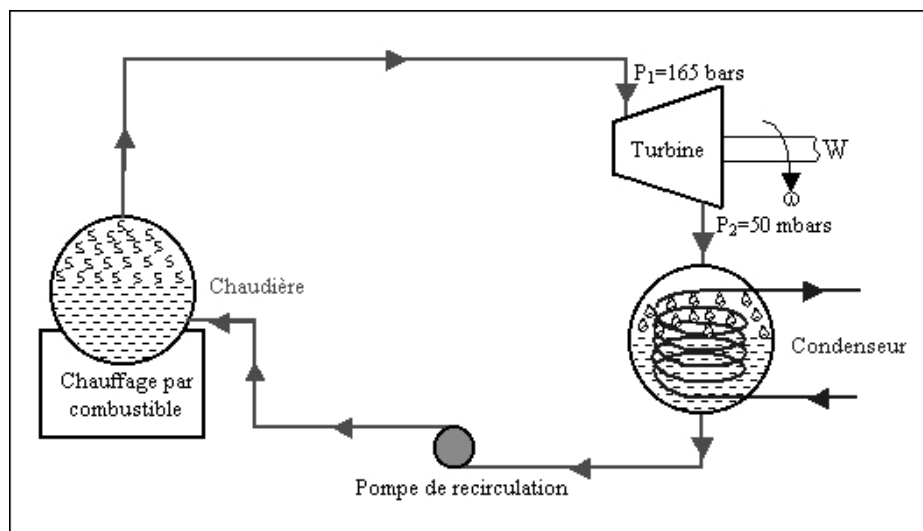


Figure I.16. Schéma d'un cycle de Rankine [9].

La chaudière produit de la vapeur saturée qui traverse la turbine où elle se détend avant de se condenser, puis l'eau condensée retourne à la chaudière à travers la pompe alimentaire.

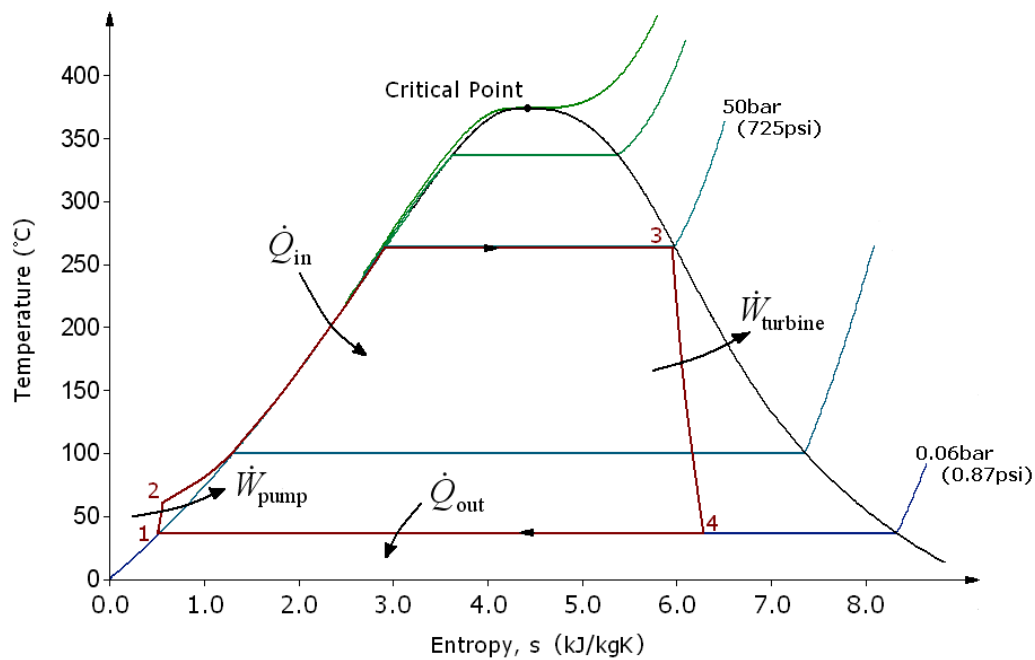


Figure I.17. Diagramme T.S de cycle de Rankine [10].

Le cycle de Rankine élémentaire se compose des quatre évolutions suivantes :

- 1-2 : une compression isentropique dans la pompe,
- 2-3 : un apport de chaleur à pression constante dans la chaudière,
- 3-4 : une détente isentropique dans la turbine,
- 4-1 : une évacuation de chaleur à pression constante dans le condenseur.

Il est à signaler que dans plusieurs documents le point 3 (l'état 3 dans la figure 2.2) du cycle de Rankine élémentaire se trouve sur la courbe de rosée. Si la température T_3 est supérieure à la température de saturation à la pression P_3 le cycle est appelé, parfois, cycle de Rankine à surchauffe.

Le bilan énergétique du cycle établit comme suit :

➤ **Travail consommé par la pompe :**

$$w_p = h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1) \quad (2.1)$$

Il est à noter que ($w_p = (P_2 - P_1)v$) résulte de l'hypothèse que le fluide est incompressible.

➤ *La chaleur fournie par la chaudière :*

$$q_H = h_3 - h_2 \quad (2.2)$$

➤ *Le travail produit par la turbine :*

$$w_t = h_4 - h_3 \quad (2.3)$$

➤ *La chaleur évacuée (condensateur)*

➤ *Le travail net du cycle :*

$$q_l = h_1 - h_4$$

$$w = w_t + w_p = - (q_H + q_L) \quad (2.5)$$

➤ *Le rendement thermique du cycle de Rankine :*

➤ *L'effet des irréversibilités sur le cycle de Rankine*

Le cycle réel de la turbine à vapeur diffère du cycle idéal pour plusieurs raisons, comme [10]:

- Les irréversibilités dans la pompe et dans la turbine.
- Les pertes de charges dans la chaudière, le condenseur et la tuyauterie entre les différents composants.

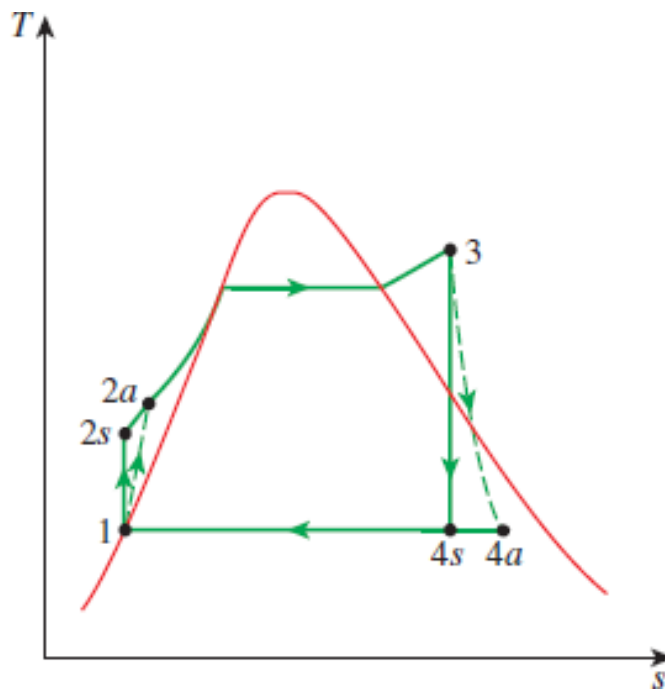


Figure I.18. L'effet des irréversibilités sur le cycle idéal de Rankine [10].

Afin de tenir compte des irréversibilités de la pompe et de la turbine on définit les deux coefficients suivants [10] :

- Le rendement isentropique de la pompe
- Le rendement isentropique de turbine η_T :

Dans les relations (2.7) et (2.8) l'indice a correspond aux états réels alors que l'indices correspond aux états résultant d'une évolution isentropique.

I.6.2. Le cycle de Hirn

Le cycle de Hirn est une variante du cycle de Rankine dans lequel la vapeur sortant de la chaudière est surchauffée à une température supérieure à la température critique. L'avantage de cette opération est de réduire la teneur de la vapeur humide en liquide qui risque d'endommager (par érosion) les aubes de la turbine [7].

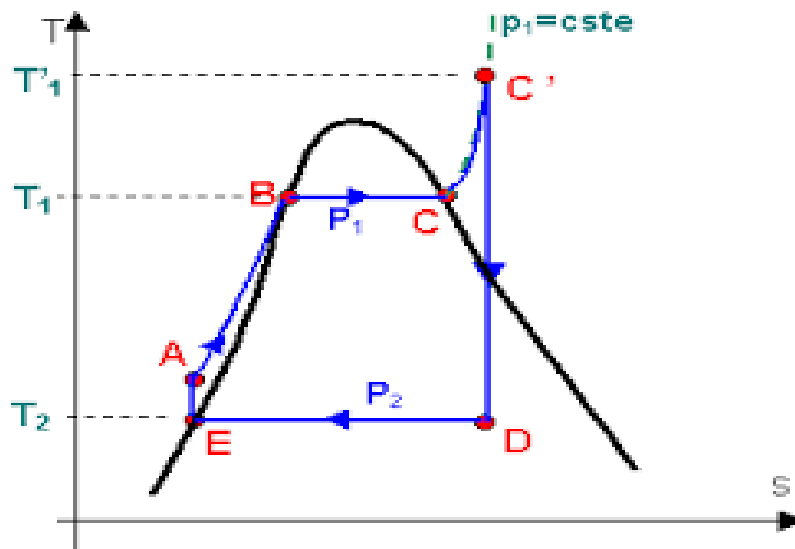


Figure I.19. Diagramme T.S de cycle de Hirn [11].

Le bilan énergétique pour chacun des composants, le travail net ainsi que le rendement de ce cycle sont aussi calculés par les mêmes formules que le cycle de Rankine (de 2.1 à 2.6).

Il est à signaler que « l'appellation cycle de Rankine tend maintenant à être appliquée également au cycle de Hirn [12] ».

I.6.3. Cycle Rankine à resurchauffe

Dans ce cas la détente isentropique se fait dans deux étages de la turbine (transformations isentropiques 3-4 et 5-6, Figure 2.6) entre les quelles la vapeur subit une resurchauffe (transformation isobare 4-5). La resurchauffe accroît le taux de la vapeur dans la turbine et augmente de 4 à 5 % le rendement thermique du cycle de Rankine [7].

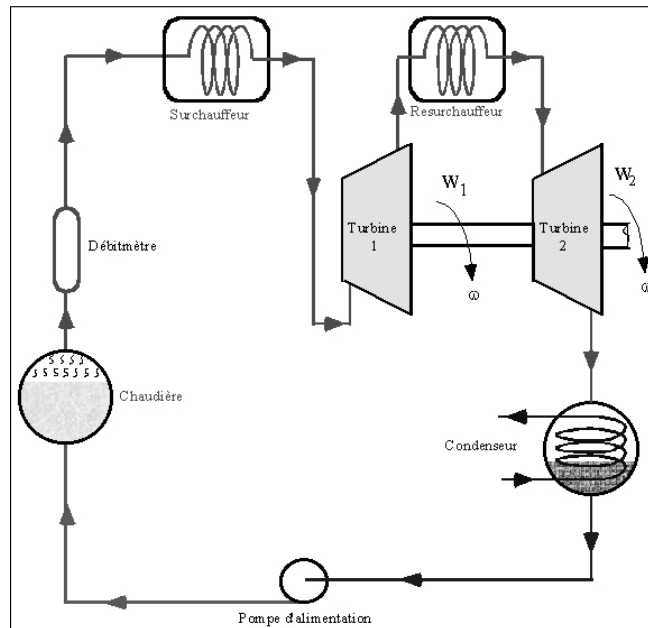


Figure I.20. Schéma de cycle à resurchauffe [9].

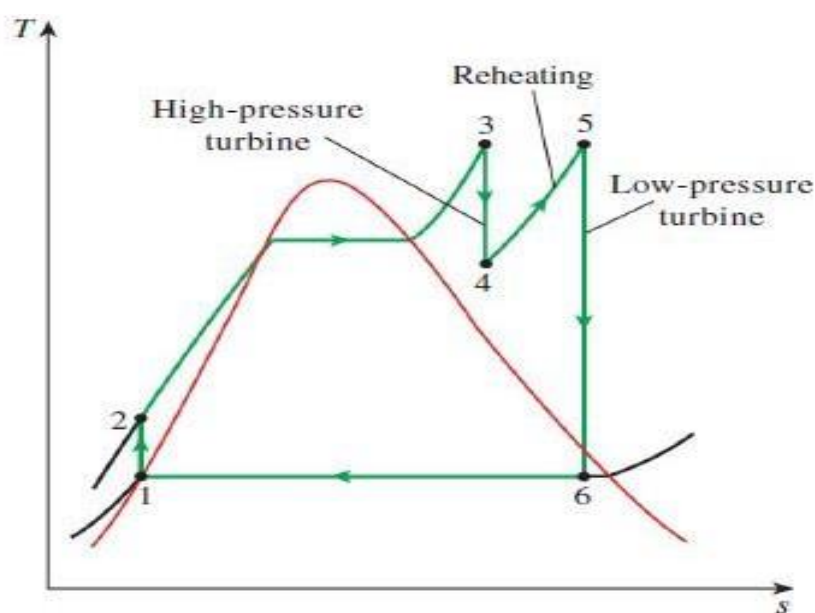


Figure I.21. Le cycle de Rankine à resurchauffe [10].

Le bilan énergétique pour chacun des composants est comme suit :

- Le travail consommé par la pompe :

$$w_p = h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1) \quad (2.9)$$

- La quantité de chaleur de surchauffe :

$$q_{H1} = h_3 - h_2 \quad (2.10)$$

- Le travail fourni par le premier étage de la turbine (haute pression) :

$$w_{t1} = h_4 - h_3 \quad (2.11)$$

- La quantité de chaleur de Resurchauffe (dans le resurchauffeur) :

$$q_{H2} = h_5 - h_4 \quad (2.12)$$

- Le travail fourni par le deuxième étage de la turbine (basse pression) :

$$w_{t2} = h_6 - h_5 \quad (2.13)$$

- La quantité de chaleur dégagée (condensateur) :

$$q_l = h_1 - h_6 \quad (2.14)$$

- Le travail net du cycle :

$$w = w_{t1} + w_{t2} + w_p = -(q_{H1} + q_{H2} + q_L) \quad (2.15)$$

- Le rendement thermique du cycle à resurchauffe :

$$\eta_{th,R} = \frac{-w}{q_{H1} + q_{H2}} = 1 + \frac{q_L}{q_{H1} + q_{H2}} \quad (2.16)$$

I.6.4. Cycle de Rankine à un soutirage :

Ce cycle, afin d'augmenter le rendement du cycle de Rankine avec surchauffe (c.-à-d. de Hirn), propose d'élever la température du liquide sortant de la pompe avant de l'admettre dans la chaudière [10]. Cette technique, appelée régénération (ou soutirage), consiste à soutirer une petite partie de la vapeur de la turbine puis à détourner cette partie dans un échangeur de chaleur, appelé « régénérateur », « réchauffeur » ou « mélangeur ». Le schéma de ce cycle est illustré par la figure 2.10. Ainsi, le soutirage c'est une opération permet de prélever une fraction de vapeur dans la turbine à une pression intermédiaire que réchauffe de l'eau à la sortie de la pompe [7].

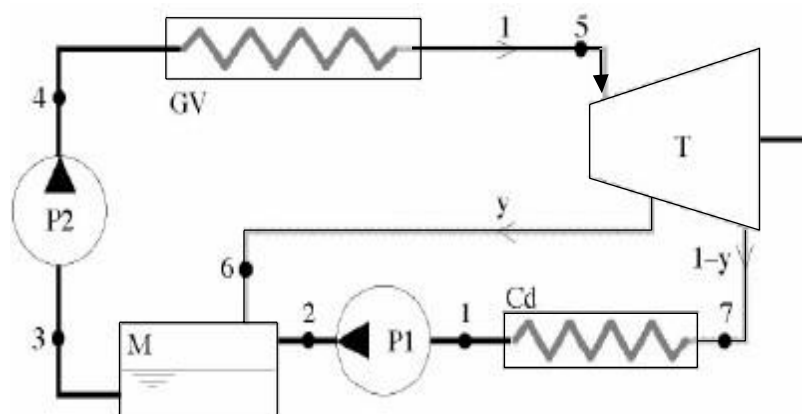


Figure I.22. Schéma de cycle de Rankine à soutirage [13].

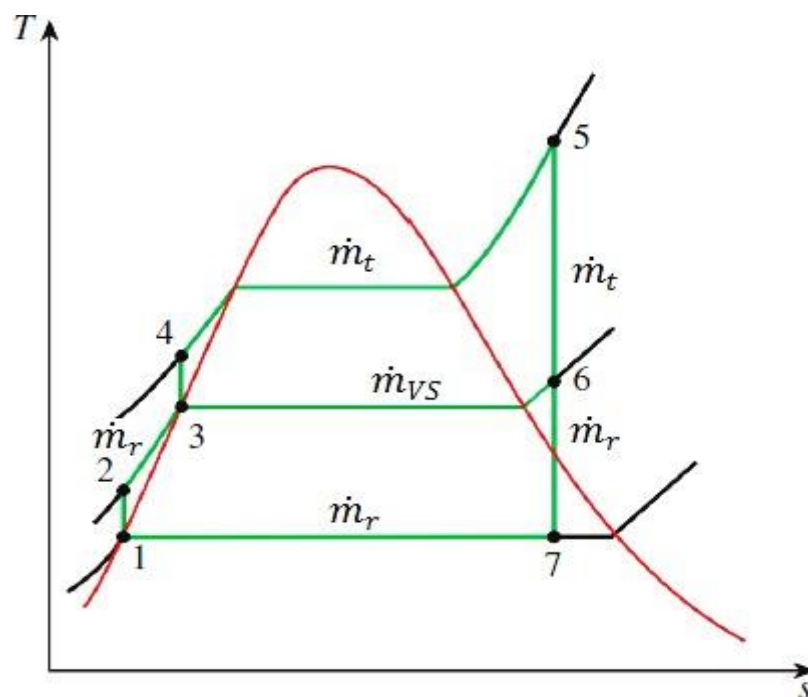


Figure I.23. Diagramme T-s du cycle à un soutirage de vapeur [10].

La conservation du débit massique à travers un volume de contrôle renfermant les deux étages de la turbine se traduit par la relation suivante [10] :

$$\dot{m}_{vs} + \dot{m}_r = \dot{m}_t \quad (2.17)$$

\dot{m}_v : Le débit massique de la vapeur soutirée de la turbine,

\dot{m} : Le débit massique de la vapeur restante,

\dot{m} : Le débit massique total.

I.7. Théorie du Cycle de Rankine

Le **cycle Rankine** porte son nom et décrit les performances des **systèmes à turbine à vapeur**, bien que le principe théorique s'applique également aux moteurs à mouvement alternatif tels que les locomotives à vapeur. En général, le **cycle de Rankine** est un cycle thermodynamique idéalisé d'un moteur thermique à pression constante qui convertit une partie de la chaleur en travail mécanique. Dans ce cycle, la chaleur est fournie de manière externe à une boucle fermée qui utilise généralement de l'eau (en phase liquide et en phase vapeur) comme fluide de travail. Contrairement au cycle de Brayton, le fluide de travail dans le **cycle de Rankine** subit le **changement de phase** d'une phase liquide à une phase vapeur et inversement.

Bien que de nombreuses substances puissent être utilisées comme fluide de travail dans le cycle de Rankine (inorganiques ou même organiques), l'**eau** est généralement le fluide de choix en raison de ses propriétés favorables, telles que sa chimie non toxique et non réactive, son abondance et son faible coût, ainsi que ses propriétés thermodynamiques. Par exemple, l'eau a la **plus haute chaleur spécifique** d'une substance commune – 4,19 kJ / kg K. De plus, il a très forte **chaleur de vaporisation**, ce qui en fait un **refroidissement efficace et moyenne** dans les centrales thermiques et autres industrie de l'énergie. En cas de cycle Rankine, la loi des gaz parfaits presque impossible (la vapeur ne suit pas $pV = nRT$), par conséquent, tous les paramètres importants de l'eau et de la vapeur sont présentés sous forme de « **tableaux de vapeur** » [8].

L'un des principaux **avantages** du **cycle de Rankine** est que le processus de **compression** dans la pompe a lieu **sur un liquide**. En condensant la vapeur de travail en un liquide (à l'intérieur d'un condenseur), la pression à la sortie de la turbine est réduite et l'énergie nécessaire à la pompe d'alimentation ne consomme que 1% à 3% de la puissance de sortie de la turbine. Ces facteurs contribuent à un rendement plus élevé le cycle.

Dans un cycle de Rankine idéal, le système exécutant le cycle subit une série de quatre processus : deux processus isentropiques (adiabatiques réversibles) alternés avec deux processus isobares :

Compression isentropique (compression dans les pompes centrifuges) – Le condensat liquide est comprimé de manière adiabatique de l'état 1 à l'état 2 par des pompes centrifuges (généralement par des pompes à condensat, puis par des pompes d'alimentation). Le condensat liquide est pompé du condenseur dans la chaudière à pression supérieure. Dans ce processus, les environnements travaillent sur le fluide, en augmentant son enthalpie ($h = u + pv$) et en le comprimant (augmentant sa pression). Par contre, l'entropie reste inchangée. Le travail requis pour le compresseur est donné par $W_{\text{Pompes}} = H_2 - H_1$.

- **Addition de chaleur isobare** (dans un échangeur de chaleur – chaudière) – Dans cette phase (entre les états 2 et 3), il se produit un transfert de chaleur à pression constante vers le condensat liquide depuis une source externe, car la chambre est ouverte pour permettre des entrées et des sorties... L'eau d'alimentation (circuit secondaire) est chauffée du point d'ébullition ($2 \rightarrow 3a$) de ce fluide puis évaporée dans la chaudière ($3a \rightarrow 3$). La chaleur nette ajoutée est donnée par $Q_{\text{add}} = H_3 - H_2$
- **Expansion isentropique** (expansion dans une turbine à vapeur) – La vapeur de la chaudière se dilate de manière adiabatique de l'état 3 à l'état 4 dans une turbine à vapeur pour produire du travail, puis est rejetée dans le condenseur (partiellement condensée). La vapeur fonctionne sur les abords (aubes de la turbine) et perd une quantité d'enthalpie égale au travail qui quitte le système. Le travail effectué par turbine est donné par $W_T = H_3 - H_4$. Encore une fois, l'entropie reste inchangée.
- **Rejet de chaleur isobare (dans un échangeur de chaleur)** – Dans cette phase, le cycle se termine par un processus à pression constante dans lequel la chaleur est rejetée par la vapeur partiellement condensée. Il y a transfert de chaleur de la vapeur à l'eau de refroidissement circulant dans un circuit de refroidissement. La vapeur se condense et la température de l'eau de refroidissement augmente. La chaleur nette rejetée est donnée par $Q_{\text{re}} = H_4 - H_1$

Au cours d'un cycle de Rankine, le travail est effectué sur le fluide par les pompes entre les états 1 et 2 (isentropic **compression**). Le travail se fait par le fluide dans la turbine entre les étapes 3 et 4 (isentropic **extension**). La différence entre le travail effectué par le fluide et le travail effectué sur le fluide correspond au travail en réseau produit par le cycle et correspond à la surface délimitée par la courbe de cycle (dans le diagramme pV). Le fluide de travail dans un cycle de Rankine suit une boucle fermée et est réutilisé en permanence [8].

Comme on peut le constater, il est pratique d'utiliser l'enthalpie et le premier principe en matière d'enthalpie dans l'analyse de ce cycle thermodynamique. Cette forme de loi **simplifie la description du transfert d'énergie**. À **pression constante**, le **changement d'enthalpie** est égal à l'énergie transférée de l'environnement par le chauffage :

Processus isobare ($Vdp = 0$) :

$$dH = dQ \rightarrow Q = H_2 - H_1$$

À **entropie constante**, c'est-à-dire dans un processus isentropique, le **changement d'enthalpie** est égal au **travail de processus d'écoulement** effectué sur ou par le système :

Processus isentropique ($dQ = 0$) :

$$dH = Vdp \rightarrow W = H_2 - H_1$$

I.7.1. Processus isentropique

Un **processus isentropique** est un **processus thermodynamique**, dans lequel l'**entropie** du fluide ou du gaz reste constante. Cela signifie que le **processus isentropique** est un cas particulier d'un **processus adiabatique** dans lequel il n'y a pas de transfert de chaleur ou de matière. Il s'agit d'un **processus adiabatique réversible**. L'hypothèse d'absence de transfert de chaleur est très importante, car nous ne pouvons utiliser l'approximation adiabatique que dans **des processus très rapides**.

Processus isentropique et première loi

Pour un système fermé, on peut écrire la **première loi de la thermodynamique en termes d'enthalpie** :

$$dH = dQ + Vdp$$

Où

$$dH = TdS + Vdp$$

Processus isentropique ($dQ = 0$) :

$$dH = Vdp \rightarrow W = H_2 - H_1$$

I.7.2. Processus isobare

Un **processus isobare** est un processus thermodynamique, dans lequel la **pression** du système **reste constante** ($p = \text{const}$). Le transfert de chaleur dans ou hors du système fonctionne, mais modifie également l'énergie interne du système.

Puisqu'il y a des changements d'énergie interne (dU) et des changements de volume du système (ΔV), les ingénieurs utilisent souvent l'**enthalpie** du système, qui est définie comme:

$$H = U + pV$$

Processus isobare et première loi

La forme classique de la première loi de la thermodynamique est l'équation suivante :

$$dU = dQ - dW$$

Dans cette équation, dW est égal à $dW = p dV$ et est connu comme le **travail aux limites**. Dans un procédé isobare et le gaz parfait, une **partie de la chaleur ajoutée** au système sera utilisée pour **faire le travail** et une **partie de la chaleur ajoutée** augmentera l'**énergie interne** (augmentera la température). Par conséquent, il est commode d'utiliser l'enthalpie au lieu de l'énergie interne.

Processus isobare ($Vdp = 0$) :

$$dH = dQ \rightarrow Q = H_2 - H_1$$

À **entropie constante**, c'est-à-dire dans un processus isentropique, le **changement d'enthalpie** est égal au **travail de processus d'écoulement** effectué sur ou par le système [8].

I.7.3. Efficacité thermique du cycle de Rankine

En général, le **rendement thermique** η_e , d'un moteur thermique est définie comme étant le rapport entre le travail qu'elle fait, W , à la chaleur d'entrée à la température élevée, Q_H .

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q_H}$$

L'efficacité **thermique**, η_{th} , représente la fraction de **chaleur**, Q_H , qui est convertie en **travail**. Puisque l'énergie est conservée selon la **première loi de la thermodynamique** et que l'énergie ne peut pas être convertie pour fonctionner complètement, l'apport de chaleur, Q_H , doit être égal au travail effectué, W , plus la chaleur qui doit être dissipée sous forme de **chaleur résiduelle** Q_C dans l'environnement. Par conséquent, nous pouvons réécrire la formule de l'efficacité thermique comme suit :

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a essayé de prendre un aperçu ou bien une vue d'ensemble sur les centrales thermiques en général et plus précisément les centrales à vapeur ainsi que les différents cycles thermodynamique applique.

Chapitre II:

Les TAV et vue d'ensemble de l'UPCA

II.1. Introduction

Les turbines à vapeur, comme toutes les turbomachines (et contrairement aux machines volumétriques), sont des appareils à écoulement continu, ce qui veut dire que, pour un régime de fonctionne est invariable en tout point. La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau

Une turbine est un dispositif rotatif destiné à utiliser la force d'un fluide (vapeur, air, gaz de combustion), dont le couple est transmis au moyen d'un arbre L'énergie du fluide, caractérisée par sa vitesse et son enthalpie, est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur une pompe ou tout autre récepteur mécanique rotatif

II.2. Différentes catégories des turbines :

Les turbines sont classées selon leur mode de fonctionnement ainsi qu'à leurs modestes constructions. On distingue trois grandes catégories de turbines : **turbines hydrauliques** ou à eau. **Turbines à gaz**. **Turbines à vapeur**. Dans cette étude, on se limite à l'étude des turbines à vapeur.

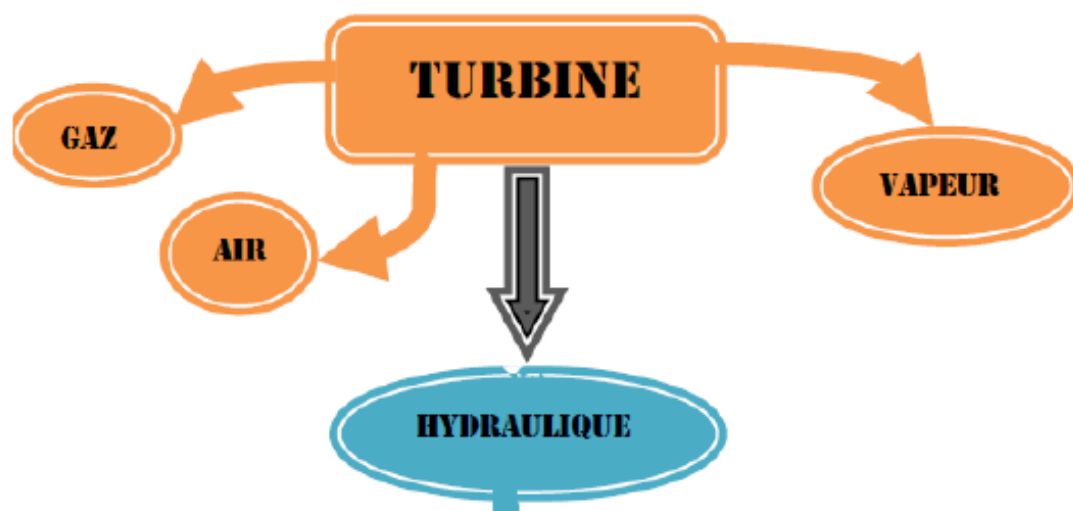


Figure II.1. Différentes catégories des turbines.

II.3. Turbine à vapeur :

La turbine à vapeur est un moteur thermique rotatif qui convertit l'énergie d'un courant de vapeur d'eau ou en énergie mécanique. Plus généralement c'est un organe qui permet la détente d'un fluide en transformant son énergie sous forme mécanique [1].

II.3.1. Le Principe de fonctionnement :

L'énergie calorifique produite au niveau de la chaudière est transmise à la vapeur acquérant de la vitesse au niveau des tuyères la vapeur commence par se détendre dynamiquement (transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique) cette dernière vient frapper les aubes d'une roue à qui elle cède sa force vive (transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique [5]).

II.3.2. Historique :

La turbine à vapeur est le fruit du travail de nombreux chercheurs et ingénieurs, à la fin du XIXe siècle. Parmi les contributions notoires au développement de ce type de turbine, on peut mentionner celle du Britannique *Charles Algernon Parsons* et celles du Suédois *Carl Gustav Parsons* fut à l'origine du principe de la séparation des étages, selon lequel la vapeur se dilate dans un certain nombre d'étages, produisant à chaque fois de l'énergie. *De Laval* fut le premier à concevoir des jets et des augets adaptés à une utilisation efficace de la vapeur en expansion [1].

II.3.3. Description de la turbine à vapeur :

La turbine à vapeur comprend une partie mobile appelée rotor qui porte des aubages directeurs. La vapeur en provenance de l'évaporateur est admise dans un collecteur. Elle s'écoule ensuite dans des canaux fixes (c'est là où l'énergie thermique se transforme en énergie cinétique) et dans des canaux mobiles (les énergies thermiques et cinétiques sont transformées en énergie mécanique). Les canaux fixes et mobiles se succèdent les uns à la suite des autres dans le sens de l'écoulement. La vapeur en provenance du générateur de vapeur est introduite dans les premiers étages de la turbine à travers des vannes d'admission et des soupapes de réglage asservies aux dispositifs de sécurité et de réglage de la turbine. La vapeur est détendue adiabaticquement en produisant un travail mécanique. La détente de la vapeur à travers les divers étages de la turbine se fait de façon différente selon qu'il s'agisse de turbines à action ou à réaction. [1].

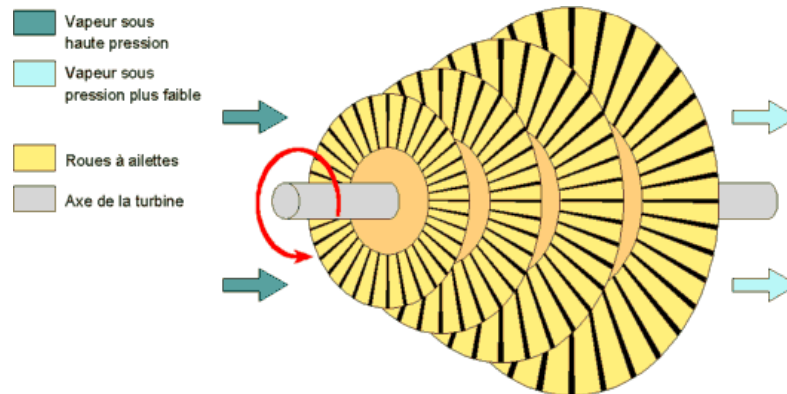


Figure II.2. Étage de turbine à vapeur.

II.4. Classification des turbines à vapeur

Différents critères peuvent être utilisés pour la classification des turbines à vapeur. Deux critères principaux peuvent être retenus, à savoir le principe du travail et la direction du courant de vapeur. [9].

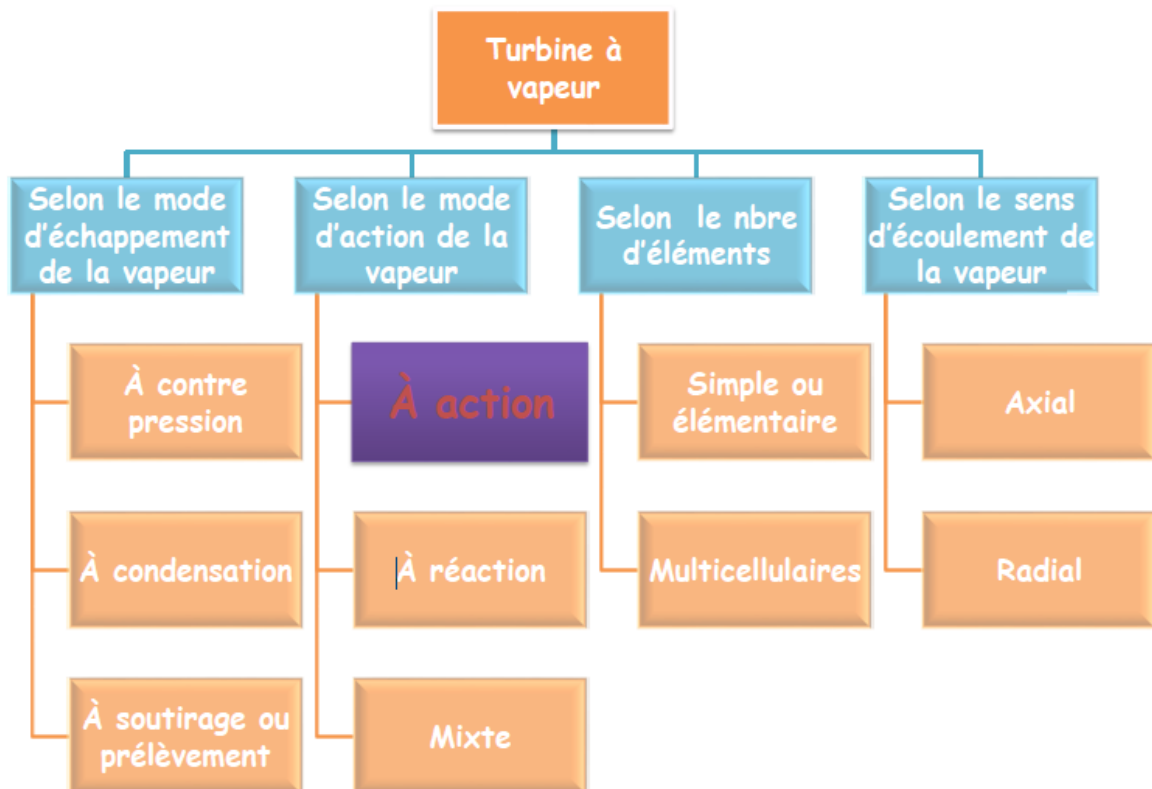


Figure II.3. Classification des turbines à vapeur.

II.4.1. Selon le principe du travail :

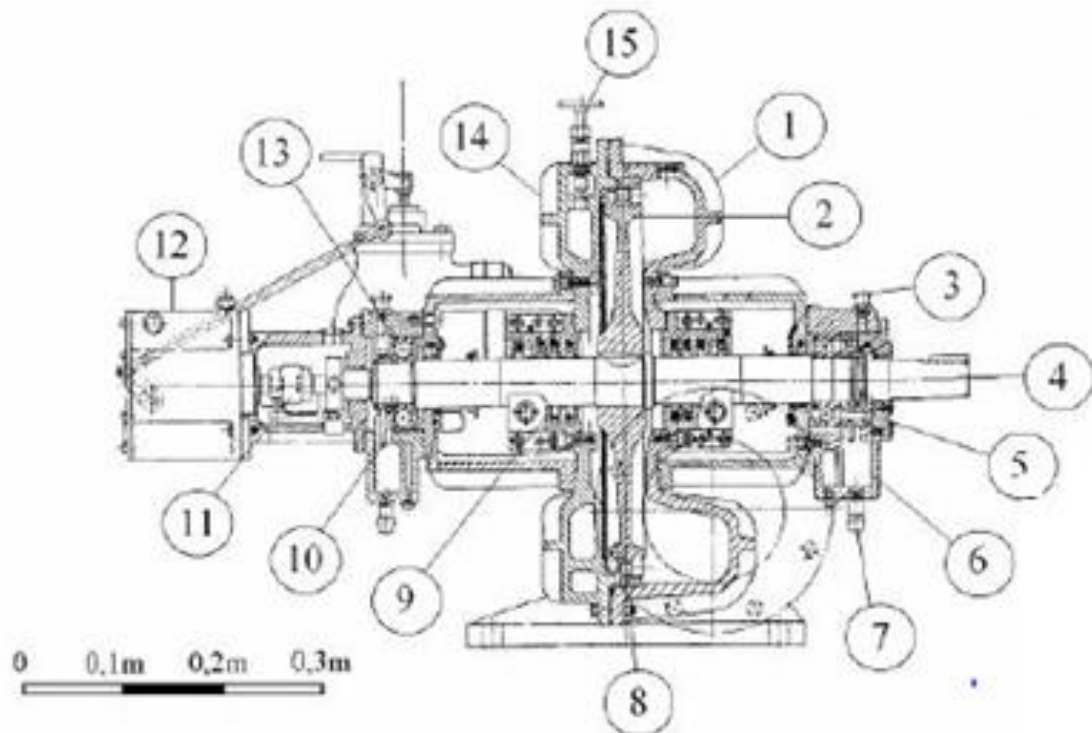
D'après le principe du travail on peut classer les turbines en deux grands groupes : les turbines à impulsion (ou à action) et les turbines à réaction. [9].

II.4.1.1. La turbine à impulsion (ou à action)

Une Turbine à vapeur est un moteur constitué d'un grand nombre de roues portant des ailettes. La vapeur saturée ou surchauffée qui entre est sous pression, elle traverse les roues mobiles et sort à faible pression les jets sont fixés sur la partie intérieure de l'enveloppe de la turbine La vapeur se déplaçant dans une tuyère fixe passe sur les ailettes incurvées les ailettes placées es sur le bord des roues tournantes mont é es sur un arbre central.

Les turbines à action dans lesquelles la détente se fait uniquement dans les aubages. La forme la plus simple de turbine à vapeur est la turbine à action, dans lesquelles la détente se fait uniquement dans les aubages fixes Elles sont bien adaptées aux étages à forte pression et se prêtent mieux à la régulation de débit.

Cette turbine est conçue de manière que la vapeur entrant par une extrémité de la turbine se dilate à travers une succession de tuyères jusqu'à ce qu'elle ait perdu la majeure partie de son énergie interne. [9].



- | | |
|------------------------------|--|
| 1 : Carter turbine | 9 : Garnitures métalliques d'étanchéité |
| 2 : Rotor | 10 : Bague de lubrification |
| 3 : Remplissage d'huile | 11 : Joint d'accouplement |
| 4 : Arbre principal | 12 : Régulateur de vitesse |
| 5 : Couvercle | 13 : Roulement |
| 6 : Boîte à roulement | 14 : Couvercle supportant les injecteurs |
| 7 : Vidange | 15 : Vannes d'admission |
| 8 : Redresseur à aubes fixes | |

Figure II.4. Turbine à action.

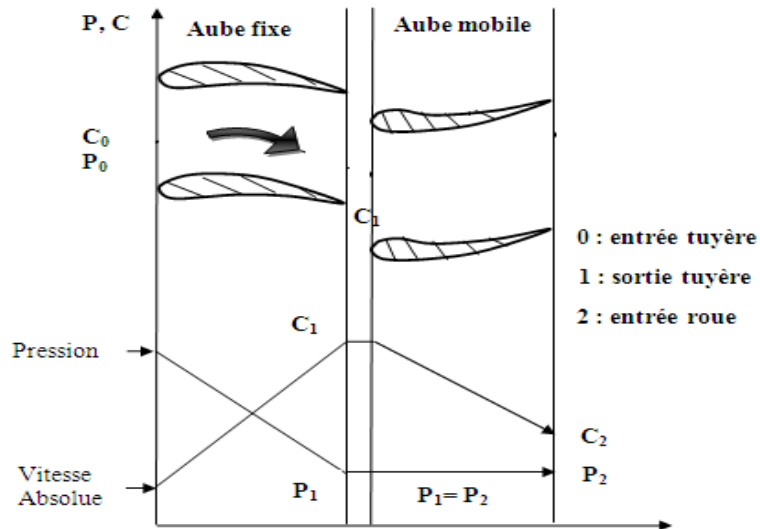


Figure II.5. Étage de turbine à action.

Le Rendement

Le rendement croît avec la pression de la vapeur et avec la température de surchauffe. Cependant, l'augmentation de ces caractéristiques est limitée par la teneur en eau de la vapeur en fin de détente. En effet, la courbe de détente peut atteindre la courbe de saturation avec formation de gouttelettes qui nuisent à l'efficacité des derniers étages de détente.

Réglage du circuit d'huile Système d'huile de réglage il contient :

- Pompes d'huile principale et auxiliaire
- Réglage de la pression d'huile à 5 bars à l'aide de la soupape régulatrice de pression
- Consommateurs d'huile comme régulateur de vitesse de la turbine, dispositif de démarrage et dispositif de sécurité de sur vitesse

Système d'huile de lubrification il contient :

- Pompes d'huile les précédents
- Réglage de la pression d'huile
- Réfrigération et filtration
- Consommateurs d'huile palier combiné porteur et buté de la turbine, palier porteur de la turbine et vireur

II.4.1.2. La turbine à réaction

Dans la turbine à réaction, une partie de l'énergie mécanique est obtenue par l'impact de la vapeur sur les ailettes. La partie la plus importante est obtenue par l'accélération de la vapeur [ors de son passage dans la roue de la turbine. Où elle se détend. Une turbine de ce type se compose de deux jeux d'ailettes, l'un fixe, l'autre mobile. Ces ailettes sont disposées de telle façon que chaque paire joue le rôle de tuyère. Il travers laquelle la vapeur se dilate lors de son passage.

Dans chaque étage, une faible quantité d'énergie thermique est convertie en énergie cinétique. La vapeur se détend dans les aubes fixes. Puis entraîne les aubes mobiles disposées sur la roue ou le tambour de la turbine. La chute d'enthalpie se fait donc en deux étapes, une première dans la tuyère et une deuxième dans le rotor. [9].

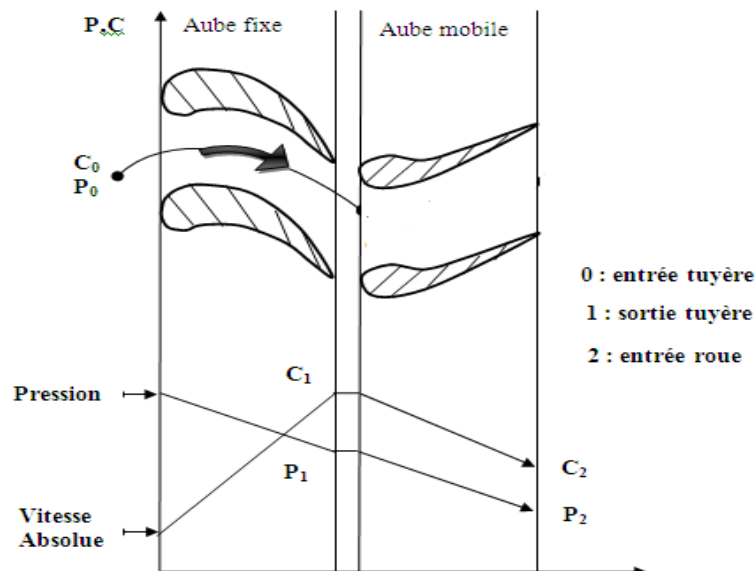


Figure II.6. Étages de turbine à réaction.

II.4.1.3. Etude comparative

-Une étude comparative des vitesses et du nombre des éléments dans les turbines à action et les turbine à réaction met en évidence. La turbine à réaction pure tourne avec une vitesse périphérique égale à environ 1.4 fois la vitesse de la turbine à action

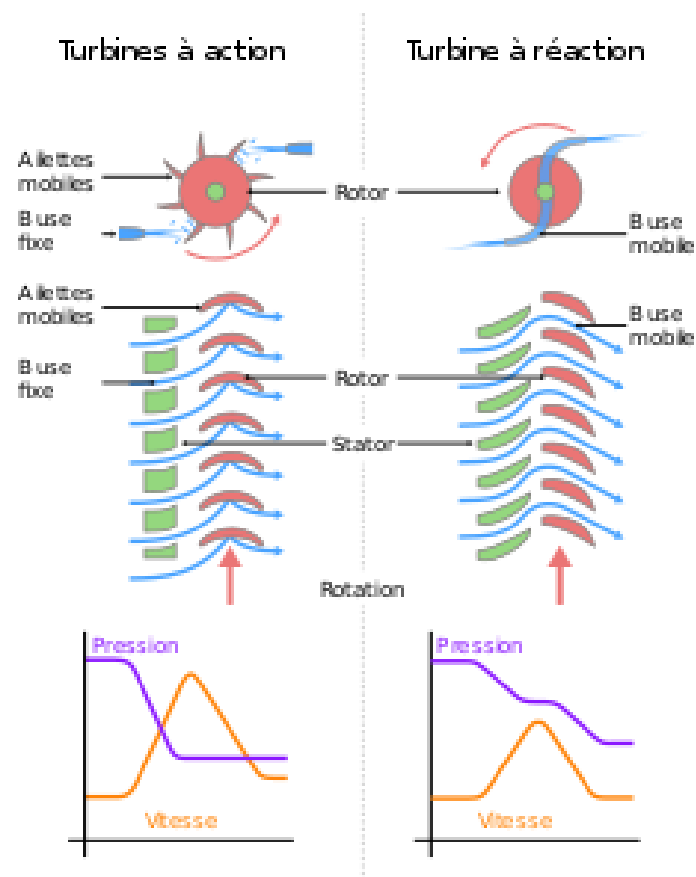


Figure II.7. Schéma décrivant la différence entre une turbine à impulsions et une turbine à réaction.

II.4.2. Selon la direction du courant de vapeur on peut distinguer :

Les turbines axiales et les turbines radiales :

II.4.2.1. Turbines axiales

Dans ce type, le flux de vapeur est essentiellement parallèle à l'axe de la turbine. Les turbines axiales sont essentiellement composées d'un tore d'admission qui canalise le fluide vers l'entrée et d'un stator portant des aubes fixes ou distributeurs (où l'énergie cinétique thermique du fluide se transforme entièrement (cas de la turbine à action) ou partiellement (cas de la turbine à réaction) en énergie cinétique. Le rotor porte les aubes ou l'énergie cinétique et l'énergie thermique restantes se transforment en énergie mécanique. [9].

II.4.2.2. Turbines radiales

Le flux de vapeur entre dans ce cas perpendiculairement, l'axe du rotor fonctionne comme un compresseur centrifuge avec un écoulement inversé (centripète) et de rotation dans le sens et Régulation d'une turbine à Vapeur dans une centrale Thermique opposé. Elle est en général utilisée pour les petites puissances.

II.4.3. Selon le mode de construction

II.4.3.1. Turbine à un corps

Est construite pour des puissances faibles ou moyennes jusqu'à 20 MW.

II.4.3.2. Turbine à plusieurs corps

Ou de grande puissance pour les centrales thermiques à puissance élevée elle comprend deux ou trois corps (haute pression (HP), moyenne pression (MP), basse pression (BP)).

Les turbines à vapeur modernes sont toutes axiales, multi étagées (à l'exception de celles entraînant de petites machines auxiliaires) [9].

II.4.4. Selon l'utilisation

II.4.4.1. Turbine à condensation :

Dans laquelle la pression de la vapeur à la sortie est très proche de vide (0,03 à 0,055bars) cette pression correspond à la température de la vapeur saturée à la sortie de la turbine et elle dépend de la température de l'eau froide qui passe par le condenseur. Les turbines à condensation sont utilisées pour la fabrication simultanée de l'énergie électrique et de la chaleur par exemple pour le chauffage urbain elle entraîne les bateaux, les turbocompresseurs et les turbosoufflantes [9].

II.4.4.2. Turbine à contre pression :

Dans laquelle la pression à la sortie est bien supérieur à la pression atmosphérique, produise de l'électricité, et la vapeur d'échappement est utilisée pour les différentes lignes technologiques (fabriques de papier, textiles...etc.) [9].

Entretien de la turbine à vapeur

Un programme d'entretien est nécessaire [10].

- S'assurer que le déclenchement de sécurité fonctionne
- Changer l'huile une fois par mois
- La soupape de sécurité doit être vérifiée
- Une inspection continue et un entretien permanent sont essentiels

II.5. Turbine Coppus UPCA

Elle est constituée de 03 parties principales :

- Sa turbine,
- Le régulateur de vitesse qui agit sur l'admission de la vapeur,
- Le déclencheur de sur vitesse

II.5.1. La turbine :

Elle se compose :

- d'une demi enveloppe appelée corps de turbine sur laquelle on trouve le fluide d'admission, la boîte de distribution et les sécheurs de tuyères formant le distributeur.
- d'un demi portant l'échappement ou sortie de la vapeur cette demi-enveloppe est appelée carter de turbine, elle équipée d'une soupape de sûreté
- de rotor comporte en plus d'élément de la turbine élémentaire, un engrenage pour l'entraînement d'un régulateur à masselotte. [11].



Figure II.8. Schéma décrivant la turbine coppus

II.5.2. Le régulateur de vitesse :

La vitesse de la turbine est réglée par action sur la pression de la vapeur qui est détendu par dosage (régler une pression avec une vanne pa le minage).

Le régulateur est combiné avec le variateur qui détermine la qualité de vapeur liée directement à la puissance de la turbine. Ce régulateur de vitesse se compose :

Dun corps de vanne a doublé siège et d'un mécanisme servomoteur, le mécanisme est entraîné en rotation par l'arbre de la turbine qui fait tourner les masselottes fixées sur des tiges flexibles et dont extrémité agissent sur la tige porte clapet par l'intermédiaire du double de variateur [11].



Figure II.9. Schéma décrivant le régulateur de vitesse

II.5.3. Déclencheur de survitesse :

Il agit sur le clapet de sécurité, il se compose d'une massolette logée dans l'arbre de la turbine et maintenue dans son logement par un ressort. En cas de survitesse, la force centrifuge devient supérieure à celle du ressort, ce qui lui permet de sortir de son logement, déclenchant ainsi la valve de l'atmosphère de sécurité ou la fermeture du clapet de sécurité. [11].



Figure II.10. Schéma décrivant le déclencheur de survitesse

II.6. La mise en service de la turbine :

II.6.1. La mise en virage de la turbine :

Le virage de la turbine a pour but d'éviter la déformation du rotor, si on n'effectuait pas le virage de la turbine avant le démarrage il y aura déformation des ailettes dus à la dilatation [12].

II.6.2. Vérification de démarrage :

- s'assurer que rien ne s'oppose à la mise en service de l'alternateur
 - s'assurer que rien ne s'oppose à la rotation de l'ensemble turbo-alternateur
 - vérifier que le déclencheur de survitesse est désarmé pour permettre la purge des garnitures d'étanchéités.
- vérifier les niveaux d'huile (paliers – régulateur) [12].

II.6.3. La mise en réchauffage :

Le réchauffage de la turbine s'effectue pendant la montée en vitesse (entre 500 et 1000 tr/min) pendant environ 20 min avant cela il faut chauffer le circuit vapeur entre la vanne d'arrivée et les soupapes régulant, pour se faire, il faut :

Décoller légèrement la vanne d'admission, ouvrir le by passe et la purge du stator, lorsque la vapeur a la sortie de la purge est sèche fermer celle-ci et l'on procèdera au démarrage de la turbine [12].

II.6.4. Arrêt normal d'une turbine :

-avant d'arrêter la turbine, mettre la pompe de passage en service (turbo- pompe ou électropompe –pompe d'huile)

-réduire la charge vapeur et la vitesse par le volant de démarrage (pendant cette période s'assure de la bonne lubrification)

-dès l'arrêt mettre la turbine en virage mais avant ça, on ferme la vanne de sechonnement de coupure de vapeur, puis on ouvre les pompes de vapeur de vapeur, après la vanne desechonnement sur la turbine [12].

-mettre le vireur en service.

II.6.5. Arrêt d'urgence :

Sur déclenchement électrique par exemple.

- Mettre la turbopompe en service et vérifier le graissage
- mettre les boites étanches à l'air si celles-ci sont cotes condensateur
- couper la vapeur sur dès le retour du courant démarrer la pompe des tradior n'est une électropompe opérer ensuite comme un arrêt normal [12].

II.6.6. Le groupe turbo-alternateur et ses accessoires

L'entrepreneur aura à proposer un matériel donnant les conditions de marches suivantes :

- Puissance effective livrée aux bornes de l'alternateur 150 CV sous cos (0*) 0.8
- Pression de vapeur à l'admission 15 bar
- Vapeur saturée sèche à l'admission : 0.98
- Pression de vapeur à l'échappement : soit air libre ou condenseur atmosphérique
- Consommation totale à pleine charge sous tolérances d'usage : échappement à l'air libre ou condenseur atmosphérique : environ 23 KG vapeur au CV heure [13].

L'ensemble sera composé de :

Une turbine à vapeur à axe horizontal, COPPUS ou similaire, complète avec tous ses accessoires de sécurité :

- palier à billes
- boite d'étanchéité avec garnitures en bagues carbone
- appareil de sécurité limiteur de vitesse avec dispositif a déclic automatique pour fermeture ànée instantanée de l'admission en cas de survitesse atteignant 10%.
- 2 manomètres de pression de vapeur avec robinet pour l'admission et l'échappement
- 1 robinet de purge du corps de turbine
- 1 tachymètre gradué de 1,000 à 4,000 tr/mn
- calorifugeage à la laine de verre sous tôles d'enveloppe

Cette turbine serait régulée par un appareil WOODWARD UG8 classe D assurant une variation de

vitesse de 0,5% entre la marche à vide et à pleine charge. Un moteur de synchronisation permettra à distance de réguler la vitesse. [13].



Figure II.11. Schéma décrivant du groupe turbo-alternateur.

II.6.7. Un alternateur

- Construction : auto-ventilé, abrité
- Puissance : 150 CV aux bornes
- Facteur de puissance : 0,8
- nature du courant : triphasé neutre sorti
- Tension entre phases 380V
- Fréquence 5.

[13].



Figure II.12. Schéma décrivant l'alternateur

II.7. Conclusion

Cette petite recherche nous a permis d'avoir une idée générale sur les turbines à vapeur ainsi que leurs fonctionnement précisément la turbine à vapeur corpus de « UPCA » et puis leurs applications dans les centrales et son positionnement.

Chapitre III.

Classement des équipements de l'UPCA

III.1 La création de l'IAP :

L'Institut Algérien du pétrole à Es Sénia (Oran), le centre de formation ouvre ses portes en 1967. L'implantation est justifiée par le développement du pôle industriel d'Arzew (maintenance, raffinage, pétrochimie, liquéfaction de gaz...)

Des programmes de formation ont été élaborés par l'IAP, de façon à couvrir les spécialités requises par l'exploitation et la maintenance des Unités industrielles.

Les spécialités enseignées sont :

- 1-Le raffinage et la pétrochimie –conduite des unités,
- 2-La chimie industrielle – laboratoire,
- 3-Le dessin d'installations pétrolières – bureau d'études
- 4-La maintenance du matériel – instrumentation pour les installations de
- 5-raffinage et de pétrochimie, mécanique,
- 6-La sécurité- prévention et intervention

Les bâtiments de l'IAP, au cœur de la cité de Es Sénia Oran, couvrent une surface de 40000m², sous forme de bureaux, salles de cours, laboratoires de travaux pratique et de recherche (mécanique, instrumentation, chimie ...), salles des conférences, infirmerie, pavillons, bibliothèque et services généraux correspondants (logements des étudiants, ateliers, magasin, garages, etc..), voir le le plan de masse.

La capacité d'accueil du centre est de 500 stagiaires. Le centre dispose d'importants moyens pour les travaux pratiques, notamment une école à feu permettant des interventions d'extinction sur des faux d'hydrocarbures (bacs, camions, tuyauteries et vannes, etc.) et une unité pédagogique de contrôle et application UPCA ° à la taille des installations *industrielles* [3].



Figure III.1. Unité pédagogique de contrôle et application.

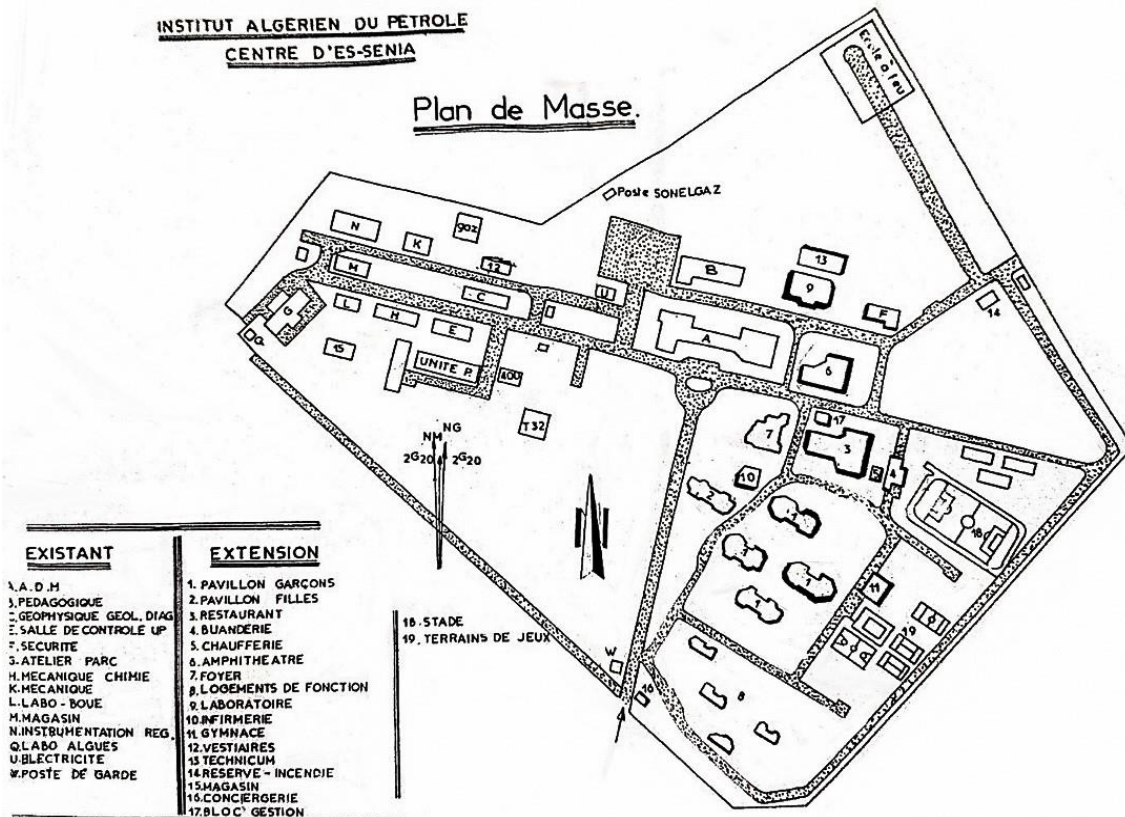


Figure III.2. Plan de masse.

Unité pédagogique (upca)

III.2 Description de l'unité 500

Ce devis descriptif a pour but de faire connaître l'installation de l'unité 500 et ses différents équipements, cette centrale est installée à l'extérieur de tout bâtiment, donc tous les appareillages doivent répondre aux normes " out door", elle devra être exécutée sous la surveillance du cabinet de contrôle SOCOTEC, suivant les normes, A pave françaises.

Seule la turbine à vapeur, l'alternateur, ses accessoires, son armoire, sont placés à l'intérieur du bâtiment E.

Les autres appareils installés à l'extérieur, En un mot la préparation de la zone était à la charge de l'entreprise [14]

III.3 Les équipements composants de l'unité 500

Cette zone est constituée d'un ensemble comprenant :

Turbo-alternateur x1

Chaudière x1

Condenseur atmosphérique x1

Ballon sécheur séparateur d'eau et de vapeur x1

Tour de refroidissement x1

Pompes x2

Armoire de contrôle et de protection pour l'alternateur x1 [14]

III.3.1 Turbo-alternateur :



Figure III.3. Turbo-alternateur

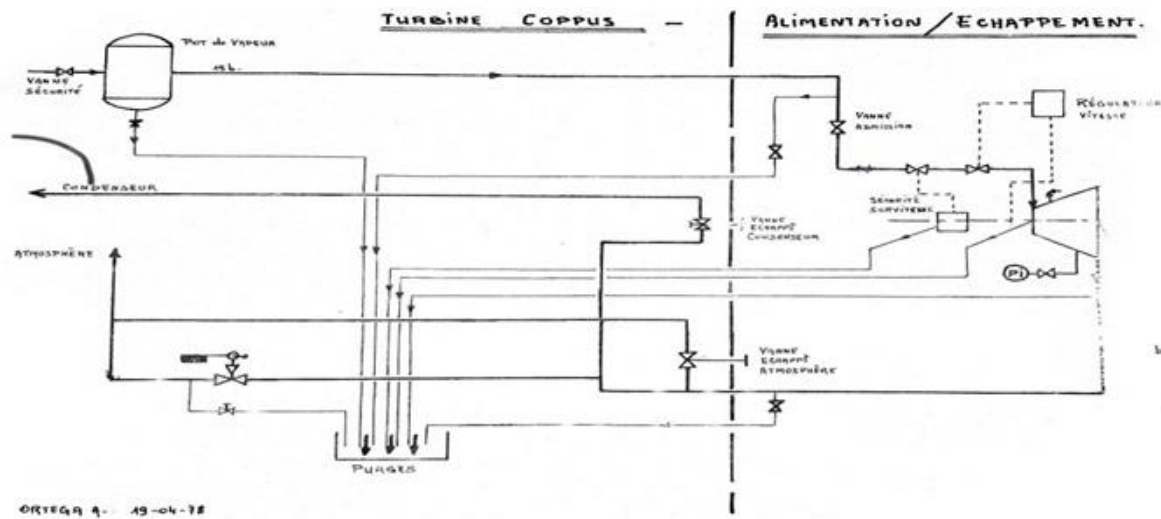


Figure III.4. Schéma décrivant la turbine Coppus

III.3.2 Une turbine à vapeur

Qui à axe horizontal, COPPUS ou similaire, complète avec tous ses accessoires de sécurité :

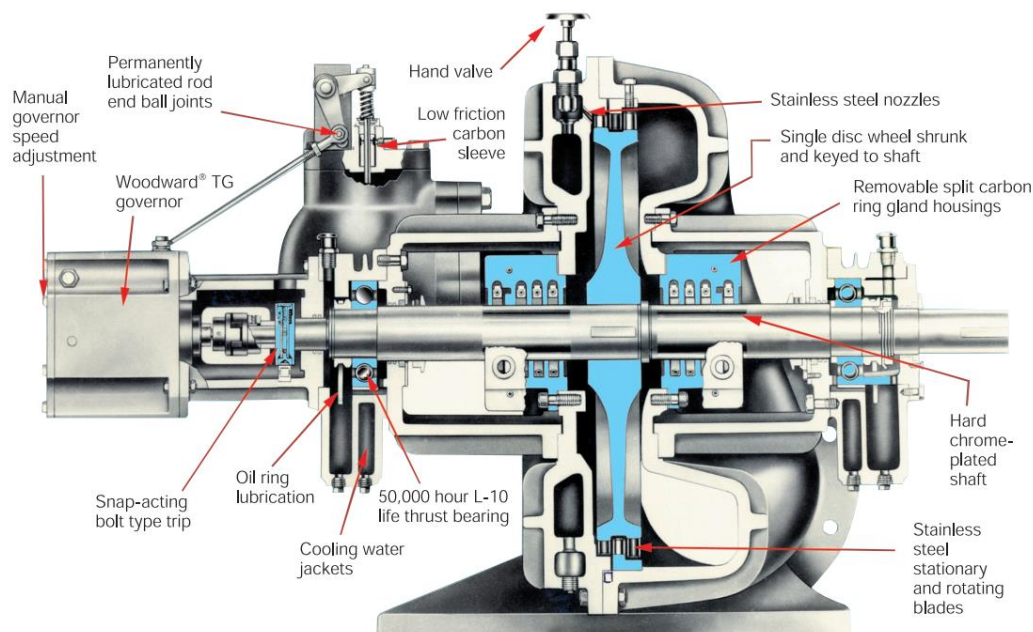


Figure III.5. UNE TURBINE A VAPEUR

- palier à billes
- boîte d'étanchéité avec garnitures en bagues carbone

- appareil de sécurité limiteur de vitesse avec dispositif à déclat automatique pour fermeture ànée instantanée de l'admission en cas de survitesse atteignant 10%.
- 2 manomètres de pression de vapeur avec robinet pour l'admission et l'échappement
- 1 robinet de purge du corps de turbine
- 1 tachymètre gradué de 1,000 à 4,000 T/mn
- calorifugeage à la laine de verre sous tôles d'enveloppe

Cette turbine serait réglée par un appareil WOODWARD UG8 classe D assurant une variation de vitesse de 0,5% entre la marche à vide et à pleine charge. Un moteur de synchronisation permettra à distance de réguler la vitesse. [14]

III.3.3 Un alternateur

- Construction : auto-ventilé, abrité
- Puissance : 150 CV aux bornes
- Facteur de puissance : 0,8
- nature du courant : triphasé neutre sorti
- Tension entre phases 380V
- Fréquence 50HZ [17]

III.3.4 Chaudière :



Figure III.6.une Chaudière à vapeur



Figure III.7. Chaudière à vapeur

L'Entreprise aura à proposé une chaudière vapeur du type out-door, de 5 tonnes de vapeur horaire, en marche normale à 15 bars (timbres 16 bars ou plus) avec équipement de chauffe automatique au gaz. Température de l'eau d'alimentation 60°. SOCOMAS ou similaire. [14].

III.3.5 Condenseur atmosphérique :



Figure III.8. Condenseur atmosphérique

Capable de condenser 5.000kg/heure de vapeur à la pression atmosphérique en utilisant l'eau de circulation :

_ corps cylindrique horizontal en tôle acier soudée, galvanisée à chaud intérieurement et extérieurement, avec soufflet de dilatation reposant sur deux consoles de fixation, referment un faisceau de tubes droits en laiton. Des boîtes à eau en acier revêtues, intérieurement de

bitumastique coiffant ces plaques répartiraient l'eau de réfrigération en deux passes dans les tubes, tandis que la vapeur pénétrerait à la partie haute du corps et les purges sortiraient à la partie basse. Une cloison longitudinale dans le corps favoriserait l'échange à contrecourant [14]

III.3.6 Ballon sécheur séparateur d'eau et de vapeur :



Figure III.9. Ballon sécheur séparateur d'eau et de vapeur

En tôles roulées, soudées conformément aux réglementations en vigueur avec trou de visite

- tubulure de purge à la partie inférieure

-garniture complétée de niveau d'eau

-le récipient était approuvé hydrauliquement par le service des mines UTC, ce châssis sera monté sur l'armoire de l'alternateur [14].

III.3.7 Tour de refroidissement :



Figure III.10. Tour de refroidissement



Figure III.11. Tour de refroidissement

L'entreprise a proposé un appareil d'un débit suffisant pour assurer le refroidissement de l'eau condensant la vapeur dans le condenseur atmosphérique précisée ci-dessous.

L'eau réchauffée lors de son parcours dans le condenseur atmosphérique, sera refroidie au moyen de cette tour. Cette même eau travaillera donc en circuit fermé sauf l'appoint dû à l'évaporation.

Une pompe d'un débit suffisant sera à prévoir ainsi que les vannes d'isolement de la pompe [14]

III.3.8 les Pompes:



Figure III.12. Les Pompes

La pompe est équipée de

- 1groupe moto-réducteur monobloc étanche à la lance et aux fines poussières
- 1ensemble doseur, tété avec clapets et membranes
- 1tuyauterie d'aspiration et de refoulement
- 1crépine d'aspiration
- 1canne d'injection
- 1bac à réactifs avec couvercle de 40 litres minimum [14]

III.3.9 Armoire de contrôle et de protection pour l'alternateur :

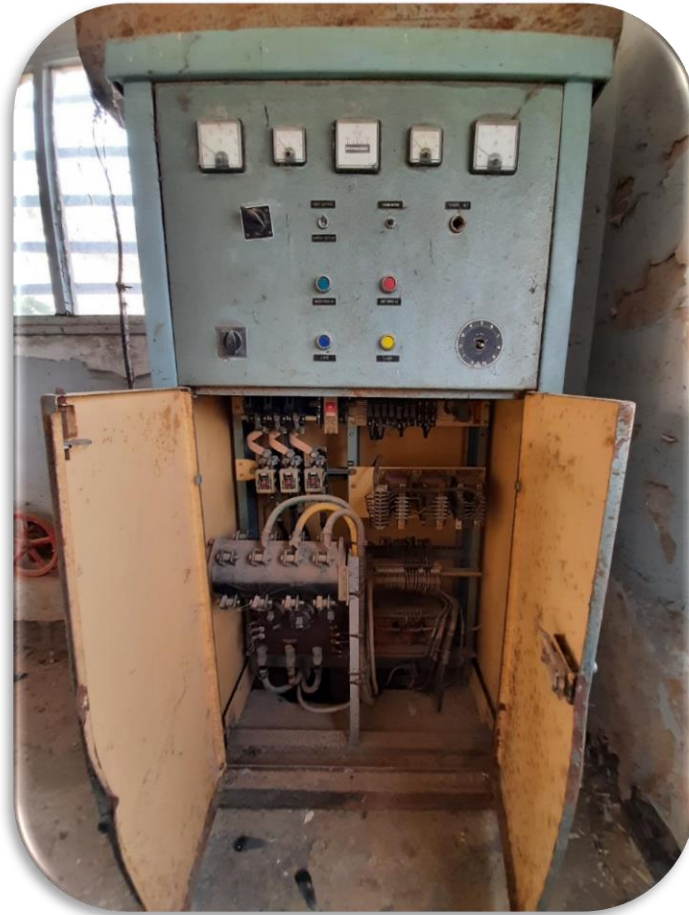


Figure III.13. Armoire de contrôle et de protection pour l'alternateur

Pour l'alternateur de 150 CV. Armoire (appareillage accessible par la face avant) en tôle acier avec les 'appareils indispensables au fonctionnement à la régulation, à la surveillance, soit :

- un voltmètre électromagnétique
- un commutateur de voltmètre pour lecture entre phases
- un commutateur d'ampèremètre
- un fréquencemètre à lames vibrantes
- une lampe de signalisation contacteur-alternateur enclenché
- deux boutons-poussoirs "marche" et "arrêt" pour contacteur-alternateur
- un bouton-poussoir d'amorçage
- un rhéostat d'ajustage manuel de la tension en fonctionnement auto-régulé

- un rhéostat pour variation du courant d'excitation en fonctionnement excitation séparée
- un commutateur d'excitation "auto-régulation-excitation séparée"
- un commutateur pour l'alimentation chargeur de batterie "secteur-alternateur".
- Le régulateur exciteur statique de l'alternateur (avec redresseur au silicium)
- Les fusibles de protection, circuits contrôle [14]

III.3.10 Un groupe électrocompresseur:



Figure III.14. Un groupe électrocompresseur



Figure III.15. Un groupe électrocompresseur

Du type out-door, pouvant assurer pression de 8bar, avec son réservoir, sa régulation, entièrement câblé.

Le moteur électrique le contacteur-disjoncteur et le contacteur manométrique devront être étanches à la lance et aux fines poussières.

Son réservoir d'air sera timbré pour une pression de service de 12 bars.

Compte-tenu de la destination de ce matériel en Algérie, si besoin est, l'entreprise prévoiera à toutes fins utiles. La tropicalisation de moteur et de l'appareillage électrique.

Le démarrage du groupe électro-compresseur sera assuré par contacteur manométrique et relais en fonction de la pression dans réservoir.

Sa liaison électrique, son contrôle et sa télécommande avec le pupitre décrit ci-dessus et le pupitre du bâtiment E seront assurés par divers voyants :

Mise en tension du moteur : voyant

Arrêt : voyant

Marche pression mano mini : voyant

Arrêt pression mano maxi : voyant

III.4 La fiche technique unité « 500 »

Tableau III.1. La fiche technique unité 500

Compresseur BURTON K507		1460 tr/mn 27CH 220/380V 70140,5 A Moteur asynchrone triphasé 50hz Fluide refoulé (AIR) Auxiliaires :
-------------------------	--	--

		Electro-vanne Roulements S.N.R K 17 N° 6308 (J.H.3NU10 S.K.F)
Compresseur Crepelle		220/380V 360kg 1485 tr/mn 60 ch Fluide refoulé (AIR) Moteur asuchrone 45KW Auxiliaire: Vane regulation
Pompe circulation SIHI P516		Fluide EAU Hauteur totale a débit nul 42m Qv = 210 m ³ /h Monocellulaire Moteur DROUARD Puissance CVS 25 2900 tr/mn Rotor COS 0.8-380V
Pompe doseur P513		Eau adouciseur Type : T2 à membrane
Pompe condensat SIHI P521		Puissanc CVS 4 ROTOR M COS0.82

		AMP 65/380V
2 pompes (chaudière) P502 à 502 B SIHI		22 KW CVS 30
Deshuileur		Capacité 75l Pression service 10 bars Pression épreuve 15 bars
Sécheur		Capacité 75l Pression service 10 bars Pression épreuve 15 bars
Filtres de sortie		Capacité 23l Pression service 10 bars Pression épreuve 15 bars
Electro-vanne		Diametre 8/13 220V
TURBO-ALT		RPM 3000 Steam temp 390°F HP 220 Steam pressure 215 PSIG 140 KW Aixiliaire: Excitation régulateur statique Régulateur 380V Moteur régulateur 115V
Chaudiere		640 kcal/kg eau à 20°C

		<p>5000kg/h (puissance calorifique en marche normale)</p> <p>560 kcal/kg eau à 100°C</p> <p>5720 kg/h (3200000 kcal/h)</p> <p>Timbre 17 bars</p> <p>Surface de chauffe : coté eau : 154,50m²</p> <p>Coté fumée 141,50 m²</p> <p>Combustible : gaz naturel</p> <p>Système de chauffe : automatique</p> <p>Poids en marche : 31600kg</p> <p>Poids à vide : 23000 kg</p> <p>Production vapeur : 5T/h</p>
Poste traitement des eaux		<p>Pression de sortie maximale 6kg/cm²</p> <p>Pression de sortie minimale 1,8 kg/cm²</p> <p>Résine synthétique</p> <p>Quantité = 800P</p> <p>Débit horaire moyen possible 20m³</p> <p>Autonomie en sef 850kg</p> <p>Capacité d'échange moyenne 4800 °C/m³</p> <p>Débit horaire en pente 30m³</p> <p>Cycle 100m³ pour une eau</p>

		traitante 35 à 40 TH
Détendeur 15/8 HPV 525		Composition : 1 piston avec 2 segments 1 clapet avec ressort rappel 1 membrane
Vanne régulation PCV 523		Eau BURTON

III.5 Engineering Equation Solver (EES)

III.5.1 Aperçu

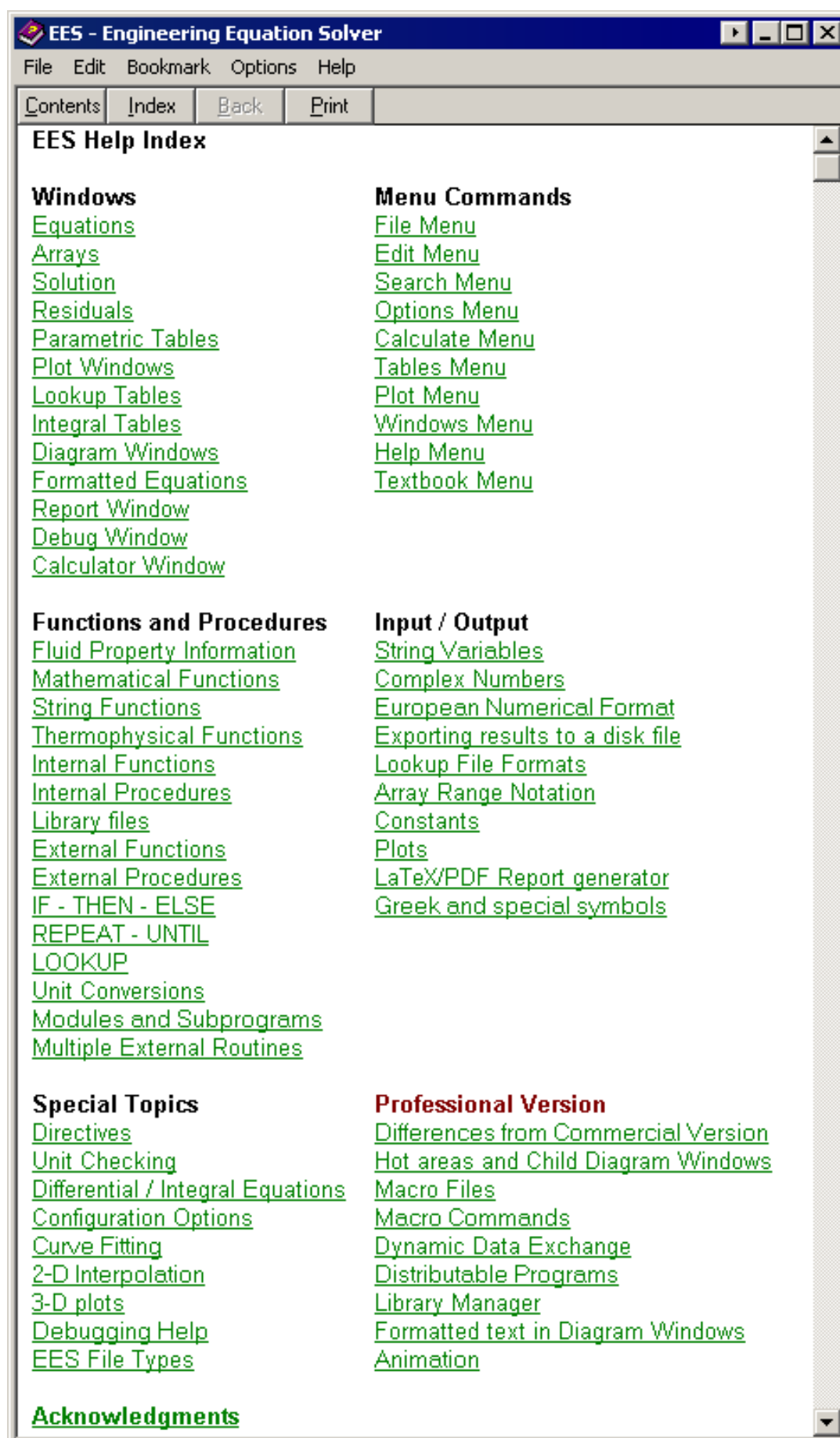
EES (prononcé 'facilité') est un programme général de résolution d'équations qui peut numériquement résoudre des milliers d'équations algébriques et différentielles non linéaires couplées. Le programme peut également être utilisé pour résoudre des équations différentielles et intégrales, faire de l'optimisation, fournir des analyses d'incertitude, effectuer une régression linéaire et non linéaire, convertir des unités, vérifier la cohérence des unités et générer des graphiques de qualité publication. Une des principales caractéristiques de la SEE est la base de données thermodynamique et de propriétés de transport de haute précision qui est fournie pour des centaines de substances d'une manière qui permet de l'utiliser avec la capacité de résolution d'équation.

III.5.2 Caractéristiques de base

- Fonctionne sur tous les systèmes d'exploitation Microsoft Windows (XP, 7, 8 et 10)
- Résoudre jusqu'à 6000 équations non linéaires simultanées (version commerciale). La version professionnelle 32 bits peut résoudre 12000 équations simultanées. La version 64 bits augmente cette limite à 24000.
- Les équations peuvent être saisies dans n'importe quel ordre
- Vitesse de calcul extrêmement rapide
- Fonctions thermodynamiques de haute précision et de transport pour 100 de fluides.
- Conversion des unités et contrôle automatique de la cohérence des unités

Études paramétriques avec tableur

- Capacité d'optimisation unique et multi-variable
- Analyse de l'incertitude et capacité de régression
- Traçage professionnel (2-D, contour et 3-D) avec mise à jour automatique
- Latex, PDF, ainsi que la sortie imprimée
- Fonctions graphiques d'entrée/sortie utilisateur avec [15]



III.6 L'interprétation mathématique

Écoulement de la vapeur

Comme la vapeur traverse la turbine à une vitesse de l'ordre de plusieurs centaines de mètres par seconde, la durée de son séjour est très réduite, de sorte que les échanges de chaleur entre la vapeur et les parois sont négligeables ; par conséquent, l'écoulement de la vapeur peut être considéré comme adiabatique. Si, de plus, la turbine est supposée parfaite, l'écoulement est réversible et la transformation décrite par la vapeur est alors isentropique ; en assimilant la vapeur à un gaz parfait, elle peut être exprimée par la relation :

$$(1) \quad p v^\gamma = C^{te}, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}, \quad \gamma=1.4$$

où c_p et c_v sont respectivement les chaleurs massiques de la vapeur à pression constante.

Désignons la pression et le volume massique de la vapeur au début de la détente par p_0 et v_0 , à la fin de celle-ci, par p_1 et v_1 . La détente a lieu dans un canal approprié constitué en fait par l'espace compris entre deux aubes fixes ; la vitesse à l'amont de ce canal étant supposée nulle, la vitesse à l'aval c est donnée par la relation :

$$(2) \quad c^2 = \frac{2\gamma}{\gamma-1} p_0 v_0 (1-m)^{(\gamma-1)/\gamma},$$

$$m = \frac{p_1}{p_0},$$

$$m = 428.57$$

Ou par la relation équivalente :

$$(3) \quad c = \sqrt{2\Delta H}, \quad =60.29 \text{ m/s}$$

Où ΔH est la variation d'enthalpie de la vapeur au cours de la détente. Si l'enthalpie H est exprimée en joules par kilogramme, la vitesse est en mètres par seconde. Si le débit-masse de vapeur est de 1 kilogramme par seconde, on évalue chacune des sections du canal normales à la vitesse c par l'expression :

$$S = \frac{v}{c}.$$

Or, la relation entre le rapport v/c et le rapport $m = p_1/p_0$ passe par un minimum ; la valeur correspondante de m est le *taux de détente critique* m_c donné par :

$$(4) \quad m_c = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}. \quad =27.55$$

En introduisant m_c dans (2), on obtient l'expression de la *vitesse critique* c_c :

$$(5) \quad c_c = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} p_0 v_0} = 44.113 \text{ m/s}$$

Quant aux valeurs correspondantes de la température et du volume massique, elles sont respectivement :

$$(6) \quad T_c = \frac{2}{\gamma+1} T_0,$$

$$(7) \quad v_c = v_0 \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{1/(\gamma-1)}.$$

Les relations (5) et (7) permettent de trouver la valeur de la section de passage S_c lors de la détente critique d'un débit de vapeur égal à 1 kilogramme par seconde ; l'inverse de cette section, soit :

$$(8) \quad q_{mc} = \frac{1}{S_c} = \frac{c_c}{v_c} = \sqrt{\gamma \frac{p_0}{v_0} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}, = 0.16 \text{ kg/s}$$

est le *débit critique* (en kilogrammes par seconde) correspondant à une section de passage de 1 mètre carré.

Le rapport $\gamma = c_p/c_v$ varie, dans une certaine mesure, avec l'état de la vapeur ; les valeurs de γ et de m_c [16]

Puissance et rendement

L'application à l'étage de turbine de la loi de la conservation de l'énergie donne :

$$(10) \quad W = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}. = 875 \text{ j/kg}$$

Pour un débit-masse q_m , exprimé en kilogrammes par seconde, la puissance fournie par la vapeur dans l'étage considéré est par conséquent (exprimée en watts) :

$$(11) \quad P = q_m W = q_m \frac{c_1^2 - c_2^2}{2}. = 140 \text{ kW}$$

Or, l'examen des triangles des vitesses correspondant à l'entrée et à la sortie de l'aubage mobile permet d'établir la relation :

$$(12) \quad c_1^2 - c_2^2 = 2u(c_{u1} - c_{u2}) = 2u\Delta c_u,$$

où la grandeur Δc_u , qui est la variation dans l'aubage mobile de la composante tangentielle (c_u) de la vitesse absolue de la vapeur, est donnée immédiatement par l'épure des vitesses qu'on obtient en superposant les deux triangles construits précédemment.

L'expression du rendement est donnée par :

$$(13) \quad \eta = 1 - \frac{c_2^2}{c_1^2} = 1 - \frac{2u\Delta c_u}{c_1^2} \\ = 1 - 4u \frac{c_1 \cos \alpha_1 - u}{c_1^2}. \quad \eta = 0.6$$

Pour un angle α_1 donné, η ne dépend donc que du rapport $\xi = u/c_1$; on obtient ainsi :

$$(14) \quad \eta = 4\xi(\cos \alpha_1 - \xi),$$

ou, en tenant compte de (13) :

$$(15) \quad \eta = \frac{2\xi\Delta c_u}{c_1}.$$

Il en résulte que le rendement passe par un maximum pour une valeur de ξ , qui est :

$$(16) \quad \xi_{\text{opt}} = \frac{\cos \alpha_1}{2},$$

la valeur maximale du rendement étant :

$$(17) \quad \eta_{\text{max}} = \cos^2 \alpha_1.$$

Ce raisonnement ne tient pas compte des pertes qui accompagnent l'écoulement de la vapeur dans les aubages fixe et mobile. L'intervention de ces pertes entraîne évidemment une certaine réduction du rendement, mais elle laisse inchangée l'expression (16) de ξ_{opt} ; comme l'angle α_1 est habituellement petit, la valeur de ξ_{opt} , pour un étage à action, est légèrement inférieure à 0,5.

les différents paramètres qui n'ont pas été calculés, était principalement à cause du manque énorme des données [16].

Equations Window

```

"Les données"
p_b= 15 [bar]
p_c= 0.035 [bar]
T_max= 200[c]
eta_turbine=0.8

"solution"
"point 4"
p[4]=p_c
x=0
h[4]=enthalpy(Water,P=P[4],x=0)
s[4]=entropy(Water,P=P[4],x=0)

"point 1"
p[1]=p_b
s[1]=s[4]
h[1]=enthalpy(Water,P=P[1],s=s[1])

"point 2"
p[2]=p_b
T[2]=T_max
h[2]=enthalpy(Water,P=P[2],T=T[2])
s[2]=entropy(Water,P=P[2],T=T[2])

"point 3"
p[3]=p_c
s[3]=s[2]
h[3]=enthalpy(Water,P=P[3],s=s[3])
eta_turbine*(hs[3]-h[2])=(h[3]-h[2])

"q"
q_add = h[2] - h[1]
q_rej = h[3] - h[4]

"Travail et efficacité"
Travail = q_add - q_rej
eta= Travail / q_add

```

Update Menu

Main Program

- eta
- eta_turbine
- h[] [kJ/kg]
- hs[] [kJ/kg]
- p[] [bar]
- p_b [bar]
- p_c [bar]
- q_add [kJ/kg]
- q_rej [kJ/kg]
- s[] [kJ/kg-K]
- Travail [kJ/kg]
- T[] [C]
- T_max [C]
- x

US Line: 28 Char: 35 Wrap: On Insert Caps Lock: Off SI C bar kJ mass deg Warnings:

Figure III.16. Interface du générateur d'équations

Après avoir introduit les différents paramètres des points du cycle Fig16, et après un temps de calcul de 125ms, on a pu déterminer le rendement du cycle qui est de 0,32

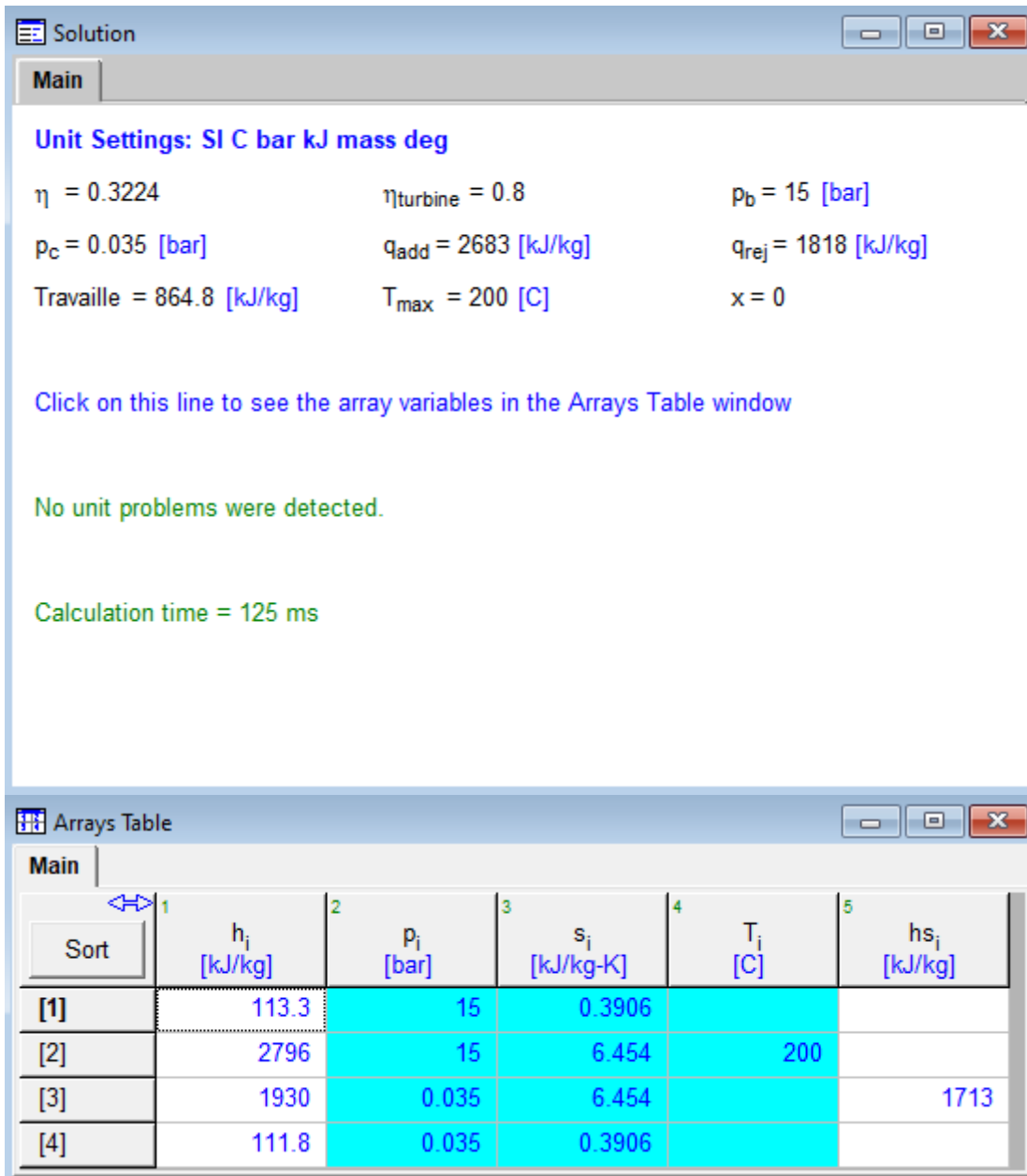


Figure III.17. Tableau des données et résultats

Fig 17 représente les différents résultats d'enthalpies et entropies qui correspondent à chaque point. La figure montre aussi qu'aucune erreur n'a été détecté lors du calcul.

```

Formatted Equations
Les données
p_b = 15 [bar]
p_c = 0.035 [bar]
T_max = 200 [C]
eta_turbine = 0.8
solution
point 4
p_4 = p_c
x = 0
h_4 = h (water , P = p_4, x = 0 )
s_4 = s (water , P = p_4, x = 0 )
point 1
p_1 = p_b
s_1 = s_4
h_1 = h (water , P = p_1, s = s_1 )
point 2
p_2 = p_b
T_2 = T_max
h_2 = h (water , P = p_2, T = T_2 )
s_2 = s (water , P = p_2, T = T_2 )
point 3
p_3 = p_c
s_3 = s_2
h_3 = h (water , P = p_3, s = s_3 )
eta_turbine * (h_s3 - h_2) = h_3 - h_2
q
q_add = h_2 - h_1
q_rej = h_3 - h_4
Travail et efficacité
Travail = q_add - q_rej
eta = Travail / q_add

```

Figure III.18. Différents points du cycle de l'unité 500

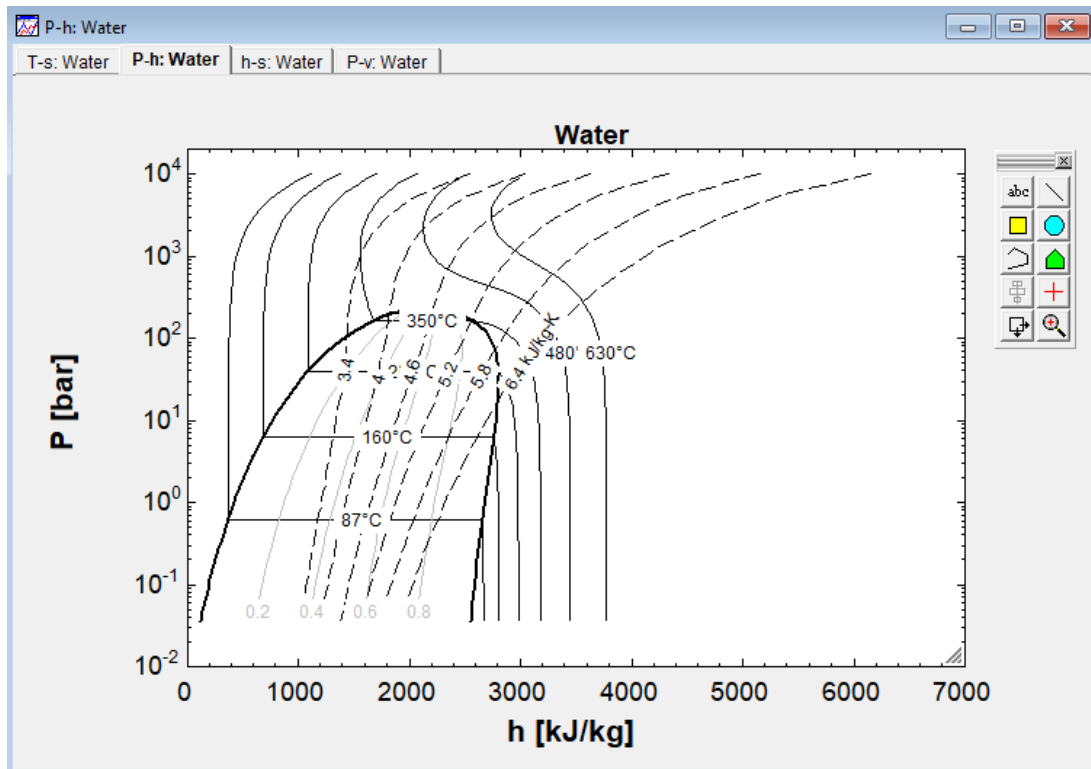


Figure III.19. **Diagramme P-h**

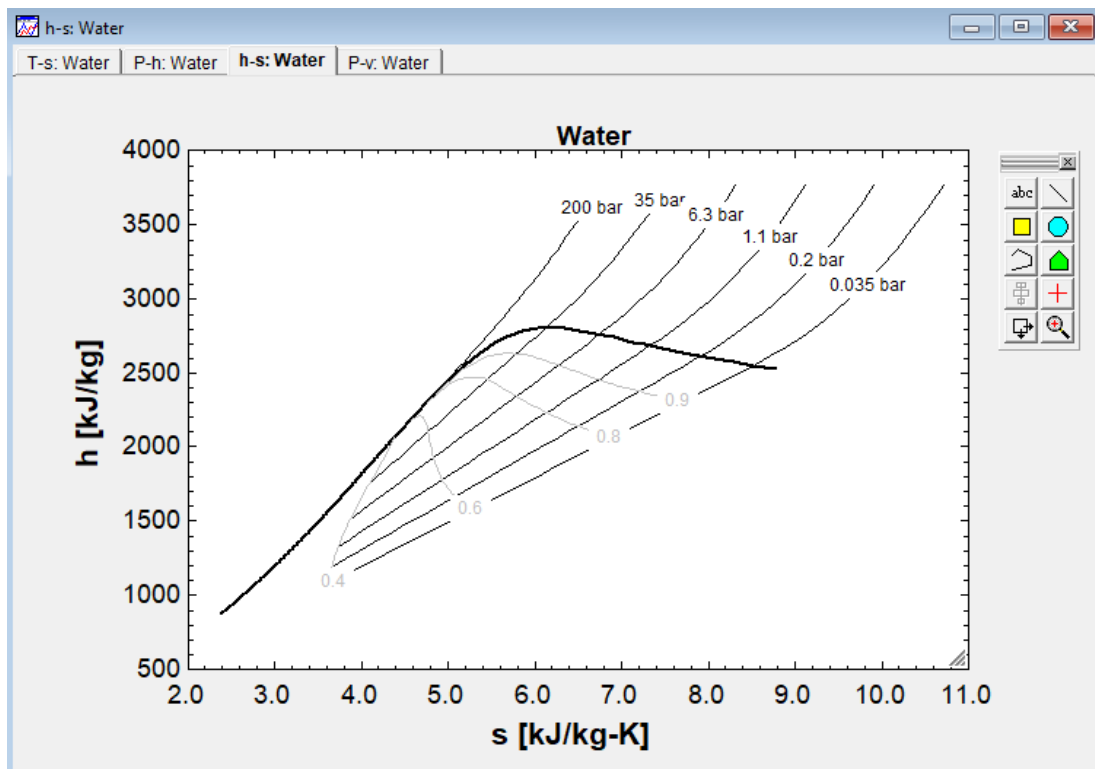


Figure III.20. **Diagramme h-s**

Les figures précédentes montrent les diagrammes P-v et h-s, et plus précisément celui de notre cycle, qui se trouvent dans les abaques. Ce qui confirme notre hypothèse qu'il s'agit bien du cycle Rankine.

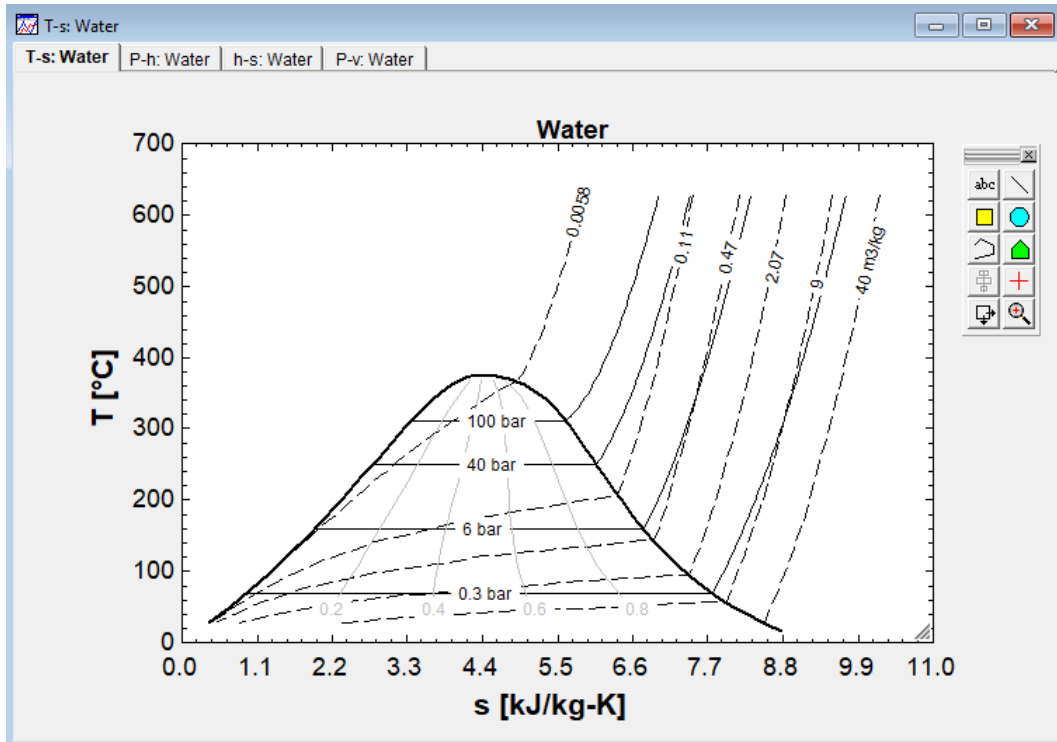


Figure III.21. **Diagramme T-s**

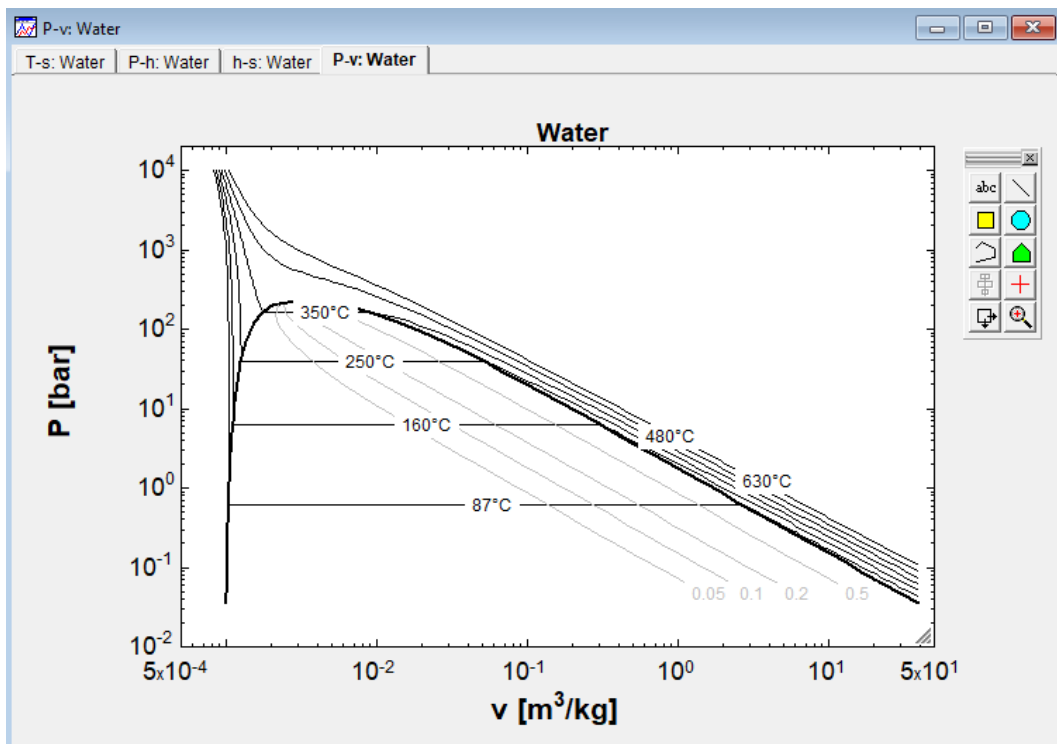


Figure III.22. **Diagramme P-v**

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, et à partir des ouvrages de l'UPCA et l'ex-IAP on a pu définir le fonctionnement de l'unité 500 ainsi que les différentes caractéristiques des équipements de la centrale thermique, et selon les résultats obtenus, notre hypothèse a été confirmé que le cycle utilisé est bien Rankine.

Conclusion générale et perspectives

Conclusions

Dans le cadre d'une éventuelle rénovation de l'unité pédagogique contrôle et application (UPCA) à l'aide d'un partenaire socio-économique, on a pris l'initiative de développer une certaine documentation et déterminer le type de cycle utilisé dans l'unité 500, ainsi que le dimensionnement de la roue de la turbine avec son triangle de vitesse.

Après les calculs effectués sur le logiciel EES on a pu conclure et confirmer notre hypothèse qu'il s'agit bien du cycle Rankine. Et après avoir fait le dimensionnement de la roue, on a eu un rendement de la turbine qui est égal à 0,6.

Perspectives :

Ces résultats obtenus pourront nous faciliter les démarches de la rénovation de l'UPCA. Des études prochaines pourront évoquer l'amélioration du cycle ainsi que le dimensionnement de la roue de la turbine d'où l'amélioration de son rendement.

BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Mémoire fin d'étude (étude exégétique d'une centrale thermique à Vapeur). (Présenté par : Chelbi Moncef Elislem)

[2] Mémoire fin d'étude de master contribution à l'étude énergétique d'une centrale électrique à cycle combiné par : Mouhoun Noureddine et Zebda Nourelislam.

[3] mémoire fin d'étude de master : Étude et amélioration du rendement de la centrale électrique de Jijel par Mr : Benslimane Houssemeddine.

[4] livre machines à fluide thermiques.

[5] projet de fin d'études : Modélisations et Régulations d'une Turbine à vapeur dans une centrale Thermique par MM. Alexandre Laleye et Cheick o. Sanou.

[6] influence des paramètres du système de détente Sur le fonctionnement de la centrale thermique De cap-Djinet présenté par : Mr.tellache nordine.

[7] mémoire fin d'étude : étude des cycles de puissance a deux phases, représenté par : sérier Boumediene, Mersali Mohamed.

[8] site web <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-la-theorie-du-cycle-de-rankine-equations-et-calculs-definition> 2019/10/17.

[9] projet fin d'étude : calcul optimal des soutirages dans une turbine à vapeur d'un cycle hybride. (Hassi r'emel) par Abdeljalil Berbiche.

[10] mémoire de fin d'étude : Vérification et amélioration des performances, d'une installation de turbine à gaz à cycle combiné par la technique d'injection de brouillard Cas de la centrale électrique de Terga. (Représente Par : Layati Yassine et Fliti sidi Mohammed)

[10] Livre : notice de conduite et d'entretien.

[11] Livre : Coppus turbine (instructions for installation opération maintenance section al drawings- part liste).

[12] Documentation (UPCA) mise en service de turbine Coppus.

[13] Dr.HAMAMI ZINEB : le travail et la recherche de 6 mois en L'UPCA.

[14] Documentation (UPCA) devis descriptif.

[15] site web <http://fchartsoftware.com/ees/>.

[16] site web (<https://www.universalis.fr/encyclopedie/turbines-a-vapeur/2-ecoulement-de-la-vapeur/>) (<https://www.universalis.fr/encyclopedie/turbines-a-vapeur/4-puissance-et-rendement/>)