



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE GENIE DES PROCEDES
OPTION GENIE D'ENVIRONNEMENT

Thème :

Etude énergétique de la centrale thermique de FERTIAL ANNABA

Réalisé par :

METALLAOUI MOHCEN

Encadré par :

ISMAIL FADHEL

DEVANT LE JURY

- | | | | | |
|------------|----------|-----------|-----|----------------------|
| • ISMAIL | Fadhel | Président | Pr | Université de Annaba |
| • KHELLAF | Nabila | Examineur | MCA | Université de Annaba |
| • Kermiche | Messaoud | Examineur | MCB | Université de Annaba |

INTRODUCTION GENERALE

Dans le but de réduire sa facture énergétique ainsi que son impact sur l'environnement, Fertial mène une politique active d'efficacité énergétique. Le lancement de la certification iso 50001 témoignent de l'implication du groupe dans la voie du développement durable, sans toutefois perdre de vue ses objectifs de production. (Louis ROMERO, Janvier/Février 2015)

Le complexe de Fertial Annaba, impressionnant par sa taille, illustre les enjeux, techniques mais surtout économiques, de la cogénération d'une part, et de la gestion de la consommation énergétique d'autre part, dans le secteur industriel. Ce stage s'inscrit dans cette optique et se propose d'étudier la problématique de l'optimisation de la production et de la gestion de l'énergie dans un complexe industriel de grande envergure, en l'occurrence l'usine de Fertial Annaba.

Pour cela, on étudiera dans un premier temps les flux entrant et sortant mis en jeu dans la production d'énergie au niveau de la centrale de l'usine.

Nous établirons ensuite le bilan énergétique de la centrale, afin d'identifier les principaux postes de consommation ainsi que les pertes énergétiques pouvant être récupérées.

Enfin, nous ferons une étude sur le coût d'exploitation de la vapeur et de l'énergie électrique de l'usine Fertial Annaba.

.1. Introduction :

Fleuron national de l'industrie pétrochimique, Fertial, Société des Fertilisants d'Algérie, est une société issue d'un partenariat signé en août 2005 entre le Groupe algérien Asmidal et le Groupe espagnol Grupo Villar Mir. Ils détiennent respectivement 34% et 66% du capital. L'outil de production, installé dans les sites industriels d'**Annaba** et d'**Arzew**, a une capacité annuelle d'un million de tonnes d'ammoniac.

Une partie de cette production est réutilisée pour la production d'une large gamme d'engrais azotés et phosphatés.

Après un investissement de plus de 170 millions de dollars ayant permis de rénover l'outil industriel, Fertial a gagné des parts de marché considérables tant à l'export que sur le marché intérieur. Ainsi, ses exportations de l'ordre de 74% de sa production place Fertial comme leader dans le bassin méditerranéen et deuxième dans le monde arabe, derrière l'Arabie Saoudite.

Elle occupe par ailleurs une confortable septième place au niveau mondial.

Si à l'export Fertial est dans le peloton de tête des entreprises productrices d'ammoniac, sur le marché intérieur elle n'est pas en reste, puisqu'elle est leader dans la production d'engrais fertilisants. Ainsi, nous pourvoyons à tous les besoins de l'agriculture algérienne en la matière. (Sihem TOUATI, 2006)

I.2. Les différents sites de production :

I.2.1. Site de production d'Annaba :

Située dans la zone industrielle d'Annaba, l'usine s'étend sur une superficie de 103 hectares et emploie 700 personnes.

Capacités de production annuelle :

Ammoniac : 330.000 tonnes.

Acide nitrique : 264.000 tonnes.

Urée Ammonitrate UAN à 32% d'azote : 240.000 tonnes et la Solution azoté (SN20)

Engrais phosphatés simples TSP, les engrais complexes binaires et ternaires (NPK) et le Sulfazote à 26% d'azote : 270.000 tonnes.

Engrais phosphatés simples SSP poudre : 280.000 tonnes.

Calcium Ammonitrate CAN à 27% d'azote, NA 33,5% d'azote et NA 34,5 soluble à 34,5% d'azote : 220.000 tonnes.

I.2.2. Site de production d'Arzew :

Située dans la zone industrielle d'Arzew (Oran), l'usine s'étend sur une superficie de 54 hectares et emploie 520 personnes.

Capacités de production annuelle :

Ammoniac : 660.000 tonnes.

Acide Nitrique : 240.000 tonnes.

Nitrate d'Ammonium granulé à 34.5% d'azote à usage hospitalier et pour la fabrication des explosifs, ainsi que le CAN à 27% d'azote : 220.000 tonnes. (Iyad SENHADJI, 2013)

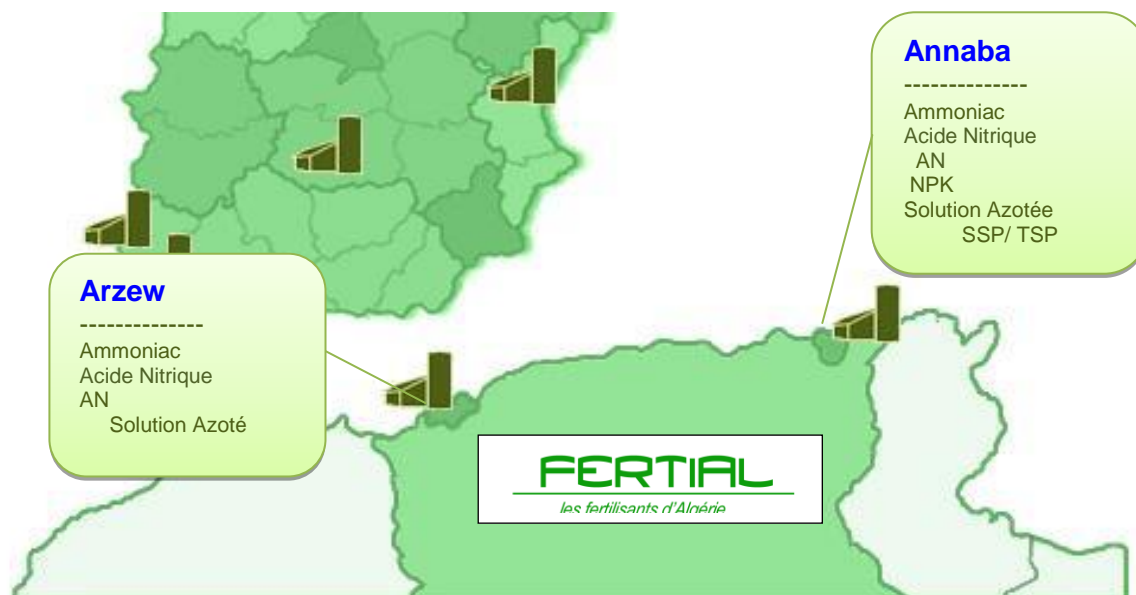


Figure I .1 Les différents sites de production

I.3. Présentation de central Utilité II :

La centrale utilité II est une unité motrice et primordiale pour tout complexe de production. Elle a pour but de produire en matières d'utilités répondant aux besoins du complexe, comme : l'eau de mer, l'eau dessalée, l'eau déminéralisée, la vapeur à haute et basse pression, l'énergie électrique et air comprimé.

Elle comprend 4 sections principales et 2 sous sections :

Les principales sections sont :

1. Section de dessalement d'eau de mer (SIDEM).
2. Section de déminéralisation d'eau dessalée.
3. Section production de vapeur.
4. Section de production de l'énergie électrique et air comprimé.

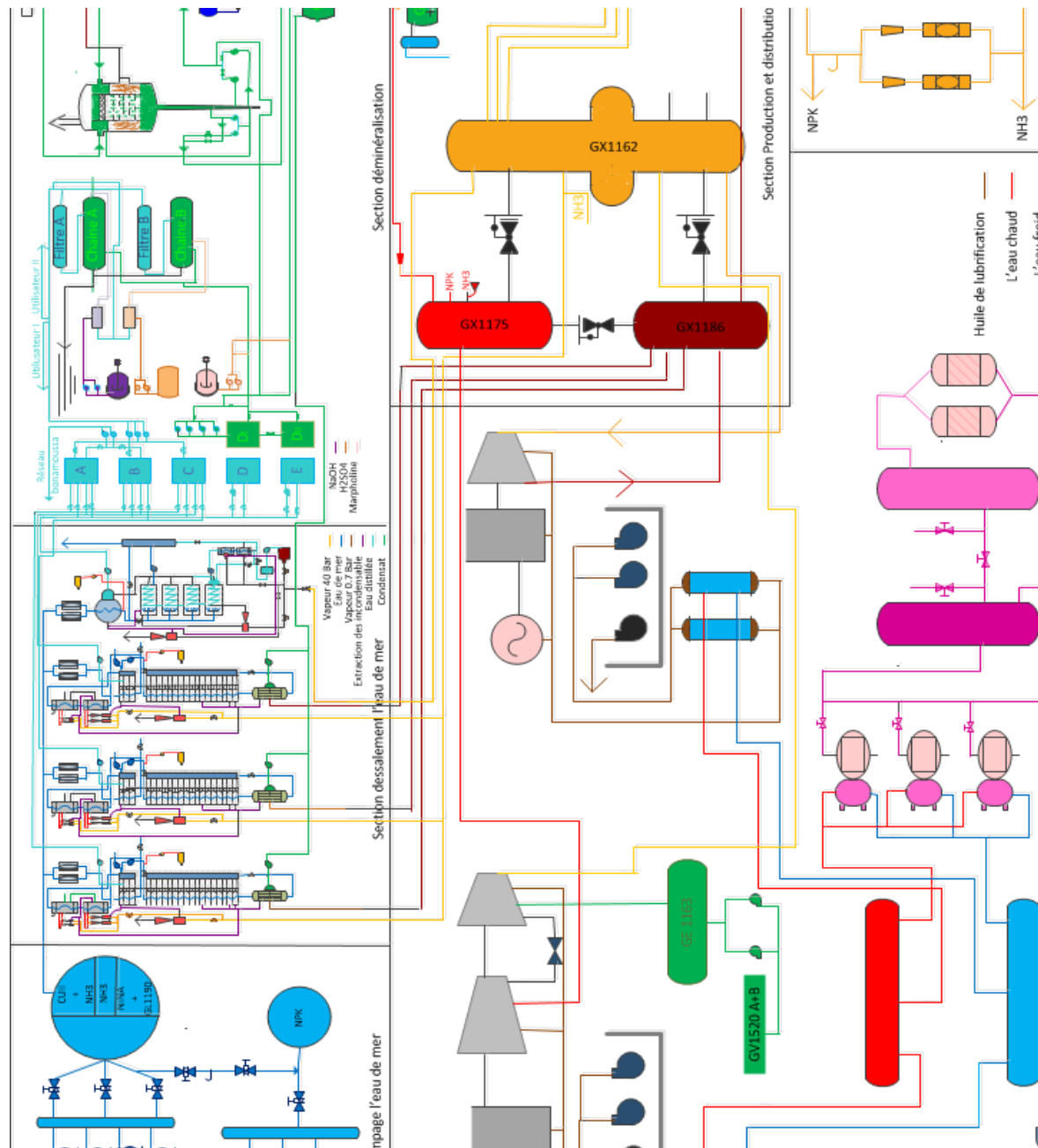


Figure I.2 Schéma technologique de la centrale utilité II.

I.3.1. Section de dessalement d'eau de mer:

I.3.1.1 Distillation par détentes successives (procède flash)

L'eau de mer prétraitée est introduite à température T_0 dans les condensateurs placés en série dans une succession de chambres. L'eau de mer s'échauffe dans ces condensateurs jusqu'à une température T_1 puis elle est introduite dans un réchauffeur qui l'élève à une température T_{MAX} .

Le réchauffeur est alimenté par le débit de vapeur d'une chaudière ou l'échappement D'une turbine. L'eau de mer chaude est introduite dans le bas de la première

Chambre où règne **une pression inférieure à celle de saturation** de la vapeur.

Il en résulte une vaporisation instantanée appelée « **flash** » : la vapeur produite va se condenser sur la surface du condenseur. Le condensat de cette vapeur va se condenser sous le condenseur et forme la production d'eau douce de la 1^{ere} chambre. Ce phénomène se produit jusqu'à la nième chambre.

Les températures des chambres vont en décroissant et par conséquent les pressions aussi. Ce sont les écarts de pression qui autorisent ce processus comme montré dans la figure suivante.

L'installation fonctionne sous vide, tout au moins pour les chambres d'une température inférieure à 100°C. Et il y a toujours des entrées d'air inévitables ainsi que du CO₂ dû à la décomposition des ions bi-carbonates qui se dégagent dans les chambres.

Un système extrait en permanence les gaz incondensables (souvent éjecteur vapeur qui crée une dépression dans la dernière chambre).(TOTAL, 2003)

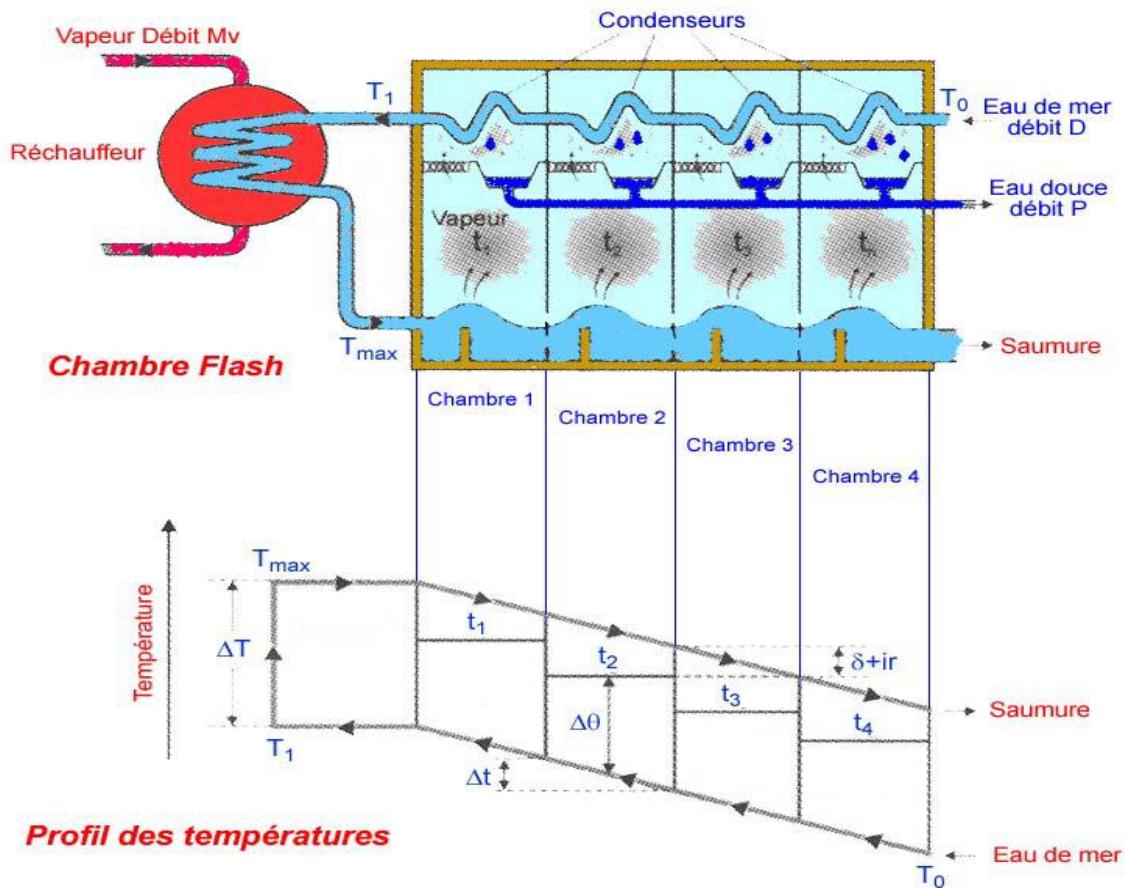


Figure I . 3 Distillation à détente successive (Flash).

I.3.1.2 Distillation à effet multiple :

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide. (DANIS, 2002)

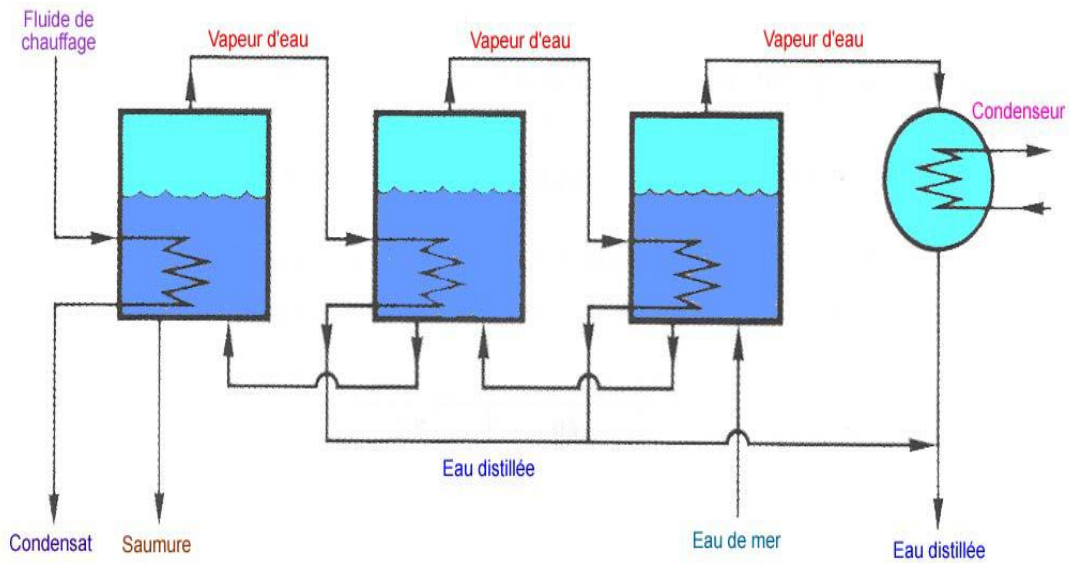


Figure I .4 Distillation multiple effets [3].

I.3.2. Section de déminéralisation :

Ce procédé consiste le passage de l'eau dessalée à travers des filtres de charbon actif et des résines échangeurs d'ions mixte cationique et anionique. L'eau dessalée passe premièrement par des filtres de charbon actif pour éliminer les matières chimiques en suspension par adsorption à la surface. Puis passe à travers des résines échangeuses d'ions afin de la déminéraliser où l'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (échange d'ions). Pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charges opposées ne sont pas affectés.

Lorsque la résine est épuisée ou saturée, la capacité d'échange de la résine est alors nulle. Il convient de remettre l'échange d'ions sous forme ionique originelle afin qu'il puisse être réutilisé par un nouveau cycle, c'est la séquence de régénération.

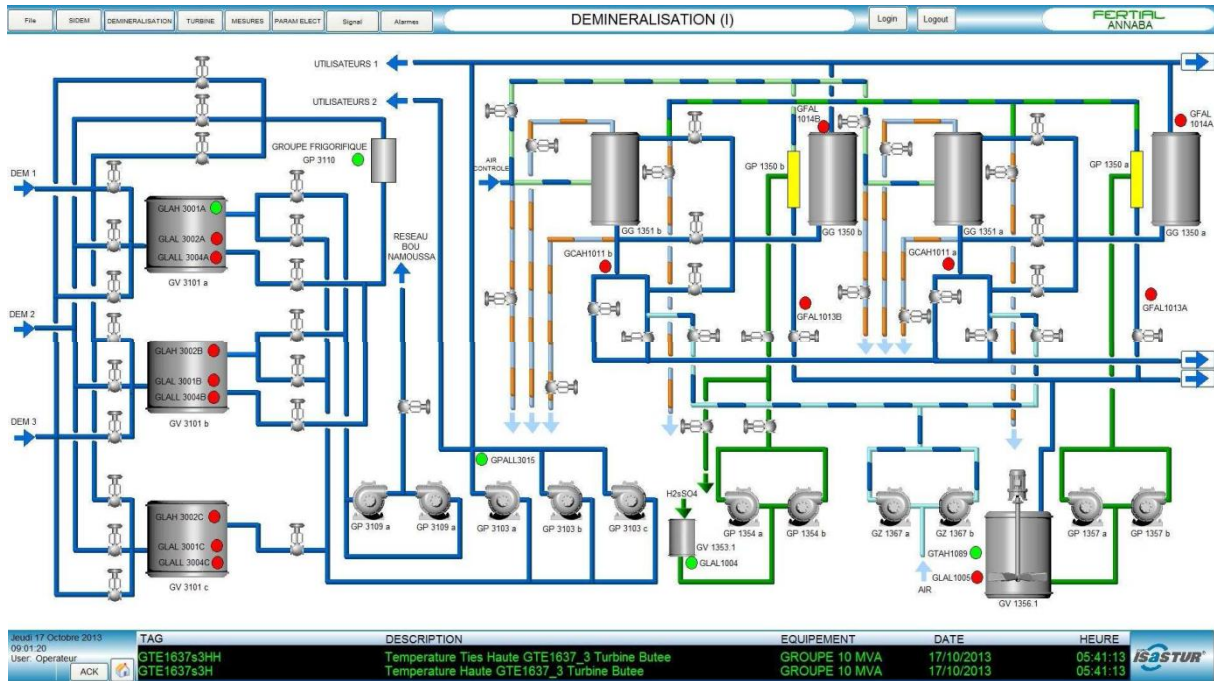


Figure I . 5 Schéma technologique de la section déminéralisation. [4]

I.3.3. Section production de vapeur :

Il y a 3 chaudières de capacité de production maximale de chacune est de 60 tonnes/h. Cette section est une section de production de vapeur sèche à haute pression 42 bars et 420 °C avec des chaudières à tube d'eau (circulation naturelle), où l'eau alimentaire subit un traitement physique et chimique puis rentre dans la chaudière de température environ 105°C pour qu'elle se transforme à une vapeur motrice qui va être utilisé dans les différentes unités. La vapeur produite est stockée dans un barillet afin de maintenir la température à environ 420°C et la pression à 42bars.

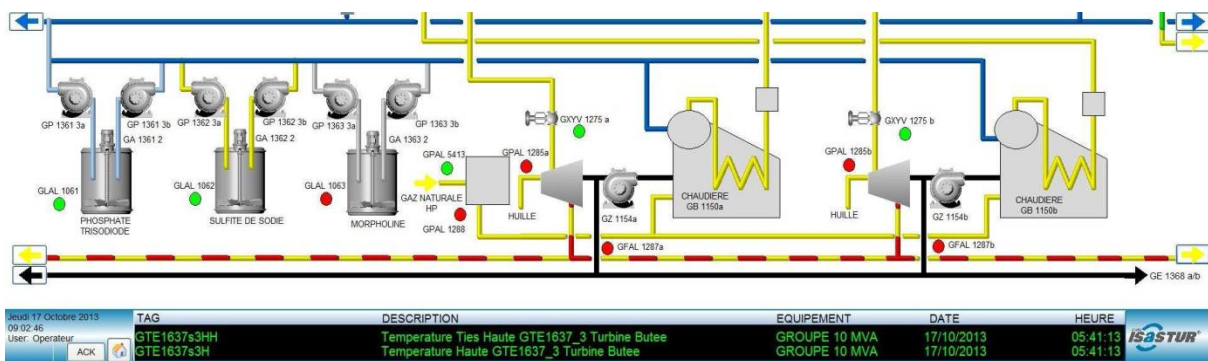


Figure I . 6 Schéma technologique de la section production de vapeur.

I.3.4. Section de production de l'énergie électrique :

1-Turbine à contre pression de capacité de production de 10

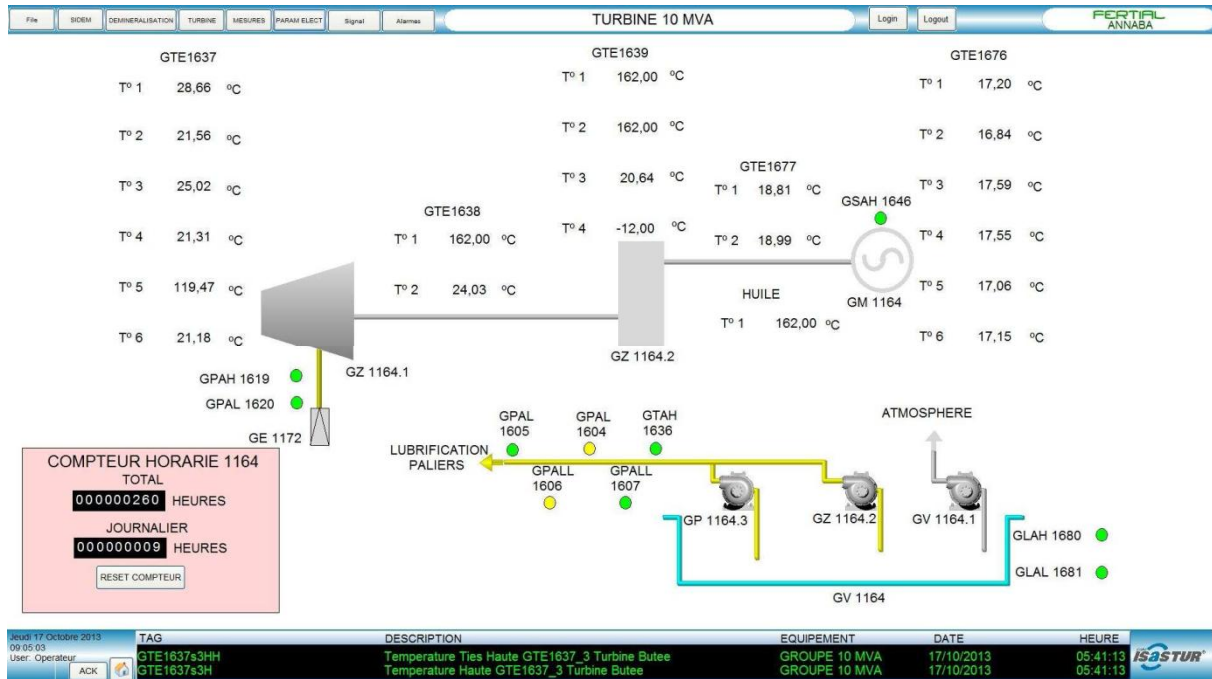


Figure I . 7 Schéma technologique du groupe turbo-alternateur 10 MVA. (SCADA, 2014)

2-Turbine à condensation de capacité de production de 18Mw/h.

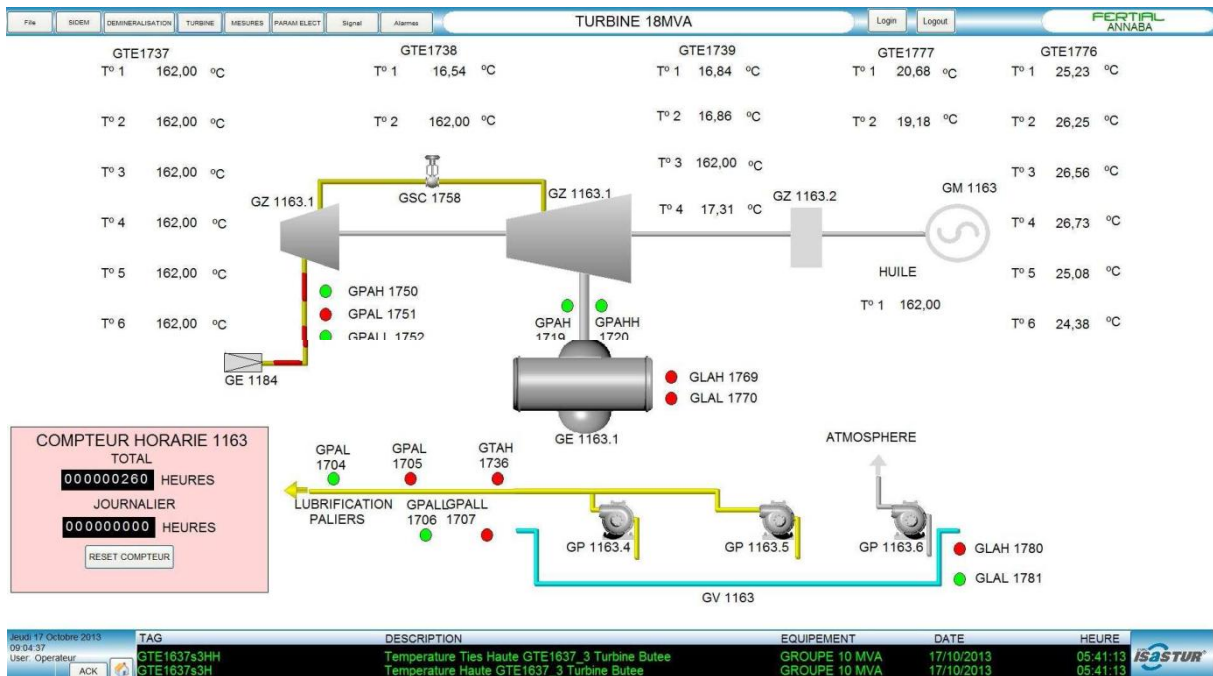
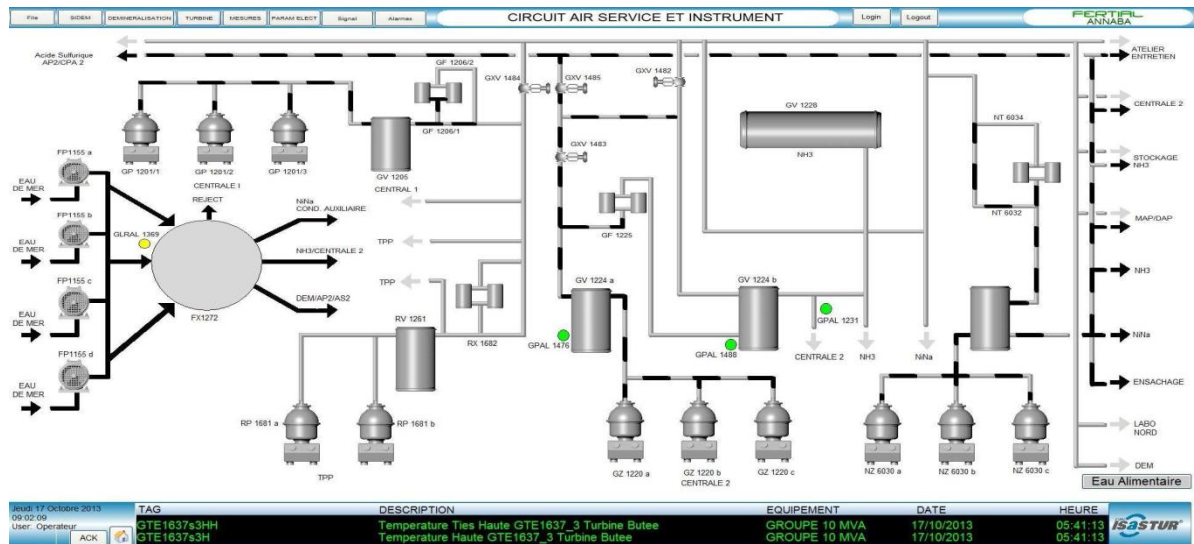


Figure I . 8 Schéma technologique du groupe turbo-alternateur 18 MVA.

Les deux autres sous sections sont :

- **Sous-section compresseur d'air** : Trois compresseurs produisent une pression de 6 bars pour le fonctionnement des appareils pneumatiques.



(SCA) Figure I . 9 Schéma technologique de la section de production d'air.

II. Introduction :

Maintenant que nous nous sommes armés de solides notions théoriques, nous pouvons étudier de plus près les cycles thermodynamiques utilisés dans l'industrie. Ce chapitre II (généralité sur les cycles moteurs) a pour objectif de répondre à deux questions :

- Pourquoi et comment utilise-t-on des moteurs à vapeur aujourd'hui ?
- Pour quelles raisons s'éloigne-t-on des cycles idéaux et comment quantifie-t-on ces compromis ?

II. 1 Pourquoi utiliser un moteur à vapeur ?

L'utilisation de l'eau comme fluide moteur dans une machine a indubitablement de nombreux inconvénients. En particulier, contrairement aux moteurs à combustion interne :

- Il est nécessaire soit de recycler l'eau dans la machine (et donc de la refroidir), soit de trouver une source continue d'eau pure pour la faire fonctionner.
- Il y a une perte inévitable d'une partie de la chaleur fournie à la machine, au-dessus de la chaudière.

Pourquoi, alors, s'intéresser au fonctionnement des moteurs à vapeur ? La réponse est que beaucoup de sources de chaleur ne permettent pas d'apporter de la chaleur directement à l'intérieur du fluide moteur. En fin de combustion, le charbon, le bois, des déchets ménagers ou agricoles, par exemple, laissent des résidus importants qu'il est impensable de faire circuler dans une turbine. Les réactions nucléaires, quant à elles, ne peuvent pas être effectuées directement au sein de l'air. L'exploitation de ces sources, qui constituent une part importante des sources mondiales d'énergie, nécessite donc d'aller prélever la chaleur à l'extérieur du moteur.

Les liquides ont une excellente capacité calorifique volumique en comparaison à celle de l'air: il s'agit donc de médiums compacts pour prélever de la chaleur d'une source externe. Parmi eux, l'eau est la plus abondante et certainement la moins difficile à manipuler. Ainsi, la quasi-totalité des moteurs pour lesquels l'apport de chaleur ne peut être fait à l'intérieur de l'air fonctionne avec de l'eau. Ces sources de chaleur rendant difficile leur utilisation dans les transports, il s'agit le plus souvent d'installations statiques utilisées pour générer du courant électrique : une configuration qui permet d'importantes économies d'échelle dans le stockage et le transport de l'énergie. L'ensemble de ces facteurs justifie le développement de centrales à vapeur de plusieurs gigawatts électriques de puissance ($1\text{GW} = 10^9\text{W}$), ce qui fait d'elles les moteurs thermiques les plus puissants au monde. (Cleynen, AVRIL 2015)

II.2 Critères d'évaluation des moteurs :

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans l'évaluation de la performance et de la valeur des moteurs à vapeur.

II.2.1 Rendement thermique et rendement global :

Le paramètre que nous avons appris à quantifier jusqu'ici est bien sûr l'efficacité thermique

$$\eta_{\text{moteur}} = \left| \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{Q}_{\text{in}}} \right| . \quad (\text{II.1})$$

Que nous cherchons toujours à faire tendre vers son maximum théorique,

$$\eta_{\text{moteur carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} . \quad (\text{II.2})$$

Il ne faut toutefois pas oublier que la transformation de chaleur en travail n'est qu'une des nombreuses opérations en jeu dans la production d'électricité :

- La préparation du combustible peut elle-même demander de l'énergie, ce que nous pouvons évaluer avec une efficacité $\eta_{\text{Préparation}}$;
- Dans la chaudière, le transfert énergétique depuis la source de chaleur vers l'eau peut se faire incomplètement (une partie de la chaleur étant éventuellement perdue avec les gaz d'échappement), ce que nous pouvons évaluer avec une efficacité $\eta_{\text{Chaudière}}$;
- La transmission d'énergie mécanique depuis la turbine vers la génératrice, éventuellement à l'aide d'un réducteur, entraîne des pertes par frottement que nous évaluons avec une efficacité $\eta_{\text{Transmission}}$;
- La génération de puissance électrique à partir de travail mécanique se fait elle aussi avec des pertes aboutissant à la production de chaleur, que nous évaluons avec une efficacité $\eta_{\text{Génératrice}}$;

Ainsi, l'efficacité globale η_{Globale} de la production d'énergie électrique à la sortie de la centrale, qui compare l'énergie électrique produite à la chaleur effectivement dépensée pour la générer (c'est-à-dire son coût marginal énergétique), est le produit de toutes ces efficacités :

$$\eta_{\text{Globale}} = \eta_{\text{Génératrice}} \cdot \eta_{\text{Transmission}} \cdot \eta_{\text{Chaudière}} \cdot \eta_{\text{Préparation}} \cdot \eta_{\text{Moteur}} . \quad (\text{II.3})$$

Il est attendu de l'ingénieur/e motoriste qu'il/elle travaille à augmenter l'efficacité globale plutôt que la seule η_{Moteur} . On peut accepter de réduire sciemment l'efficacité thermique si cela permet d'augmenter par exemple $\eta_{\text{Chaudière}}$ (avec une meilleure extraction de chaleur des gaz de cheminée) ou bien $\eta_{\text{Génératrice}}$ (avec une augmentation de la vitesse de la turbine).

II.2.2 Puissance et consommation spécifiques :

L'efficacité d'un moteur n'est pas le seul paramètre dont nous tenons compte dans l'évaluation économique de son utilisation : les coûts associés à son entretien ou à la supervision de son opération, et bien sûr les frais d'acquisition, sont également déterminants. Ces dépenses ne sont calculables que si nous rentrons dans des détails technologiques qui dépassent le cadre de notre étude de la thermodynamique.

Malgré cela, nous pouvons déjà évaluer de façon primitive la taille et le coût d'acquisition d'un moteur en calculant sa **puissance nette spécifique** W_{net} . Pour qu'il puisse être peu encombrant, il est en effet souhaitable qu'un moteur génère une puissance nette importante pour un débit de masse donné : il peut même être souhaitable de compromettre pour cela l'efficacité thermique. Dans l'industrie, l'usage est plutôt de mesurer le paramètre inverse, que nous nommons **consommation spécifique**. Cette consommation indique le débit de vapeur nécessaire pour fournir un watt de puissance utile. Nous la notons SSC (pour l'anglais Specific Steam Consumption) :

$$SSC = \frac{1}{|W_{net}|} \quad (\text{II.4})$$

Où SSC est la consommation spécifique ($Kg \cdot J^{-1}$),

et W_{net} la puissance spécifique développée par la machine ($J \cdot Kg^{-1}$),

L'unité de la consommation spécifique est le $Kg \cdot J^{-1}$ (elle représente des $kg \cdot s^{-1}$ d'eau par W de puissance), mais l'usage dans l'industrie est souvent de la mesurer en $kg/(kWh)$ (kilos par kilowatt - heure). (Cleynen, AVRIL 2015)

II.2.3 Impact écologique :

La production de chaleur dans les moteurs thermodynamiques est au centre des grands défis écologiques de notre siècle. Aussi retiendrons-nous seulement que l'impact écologique de cet approvisionnement en chaleur peut être réparti en trois grandes familles :

- La pollution par émission de particules nocives issues de la combustion, qui concerne en particulier la combustion des solides (notamment le charbon et les déchets ménagers et agricoles). Avec un système de filtrage ces émissions peuvent généralement être réduites à un très faible niveau ;
- L'émission de gaz à effets de serre, en particulier le CO_2 , un produit inévitable du processus de combustion des hydrocarbures, et dont on sait aujourd'hui qu'ils provoquent une altération importante des mécanismes climatiques planétaires. Ces émissions concernent toutes les sources de chaleur basées sur la combustion ;
- L'émission de déchets radioactifs, qui concerne les sources de chaleur nucléaires.

Ces déchets sont en faible quantité mais ils restent nocifs sur des durées de temps se comptant en millénaires. Ainsi, hormis pour quelques sources de chaleur rarement disponibles (géothermie ou concentration solaire), les moteurs thermodynamiques sont toujours alimentés par des sources présentant des inconvénients majeurs. Ils sont toutefois encore seuls à permettre l'ubiquité d'énergie sous forme mécanique et électrique associée aux progrès économiques et sociétaux de notre civilisation ces deux derniers siècles. Il advient aux ingénieurs/es et citoyen/nés responsables de juger avec sagesse de leurs défauts et qualités. (Cleynen, AVRIL 2015)

II.3 Composants des installations à vapeur :

II.3.1 Calcul des puissances des composants :

Tous les systèmes à vapeur utilisés aujourd'hui fonctionnent avec un débit continu. En outre, la vapeur y subit des variations d'énergie cinétique et potentielle qui sont très faibles au regard des transferts de chaleur et de travail. Nous pourrions relier les puissances en jeu avec l'état de la vapeur grâce à la simple équation :

$$q_{1 \rightarrow 2} + w_{1 \rightarrow 2} = \Delta h . \quad (\text{II.5})$$

Pour les évolutions (réversibles ou non) en système ouvert en régime continu ($\dot{m} = \text{Cste.}$),

Lorsque les variations d'énergie mécanique sont négligées.

Dans ce cas, lorsque l'évolution est réversible, le travail $W_{A \rightarrow B}$ entre deux points A et B s'exprime avec l'intégrale :

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B v dp . \quad (\text{II.6})$$

Notons enfin que d'une façon générale, dans les équipements fonctionnant en régime continu, nous choisissons de séparer dans l'espace les transferts de chaleur et transferts de travail. Cela réduit grandement la complexité des machines.

- L'apport ou l'extraction de chaleur se fait donc préférablement sans transfert de travail, c'est-à-dire à pression constante (transformations isobares). Idéalement, ces transferts se feront à température constante (transformations isothermes).
- L'apport ou l'extraction de travail, nécessitant une variation de pression et le mouvement de pièces mécaniques au sein du fluide, se fait donc préférablement sans transfert de chaleur (transformations adiabatiques). Idéalement, ces transferts se feront sans augmentation d'entropie (transformations isentropiques). (Cleynen, AVRIL 2015)

II.3.2 Compresseurs et pompes :

La compression sans transfert de chaleur d'un fluide en régime continu nécessite un transfert de travail :

$$\dot{W}_{compression} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (\text{II.7})$$

La compression des mélanges liquide-vapeur est un exercice particulier. La compression d'un gaz est déjà un défi majeur en mécanique des fluides, et cette compression est rendue nettement plus difficile s'il est mélangé à du liquide (c'est-à-dire qu'il est en mélange bi-phasique). Pour cette raison, en ingénierie nous préférons en général nous concentrer soit sur la compression de vapeur sèche, soit sur la compression de liquide saturé. (C'est-à-dire qu'il est en mélange bi-phasique). Pour cette raison, en ingénierie nous préférons en général nous concentrer soit sur la compression de vapeur sèche, soit sur la compression de liquide saturé.

Comme le volume spécifique de l'eau liquide est environ mille fois plus faible que celui de la vapeur d'eau, une brève re-lecture de l'équation (II.6) nous pousse à préférer la compression des liquides à celle des gaz. C'est pour cela que les phases de compression, dans les installations industrielles, se font toujours à l'état liquide, à l'aide de pompes (Figures II.1). Ce sont des équipements plus compacts et géométriquement simples que les compresseurs à gaz.

La puissance spécifique requise pour comprimer un débit de fluide d'une pression P_A à une pression P_B , lorsque l'évolution est réversible, s'exprime à partir de la relation (II.6). Comme le volume massique v_L de l'eau liquide pure saturée (environ $v_L = 1 \cdot 10^{-3} m^3 Kg^{-1}$) varie très peu avec sa pression, nous pouvons écrire :

$$W_{Pompe\ liquide} \approx v_L \int_A^B dp = v_L (P_B - P_A) \quad (\text{II.8})$$

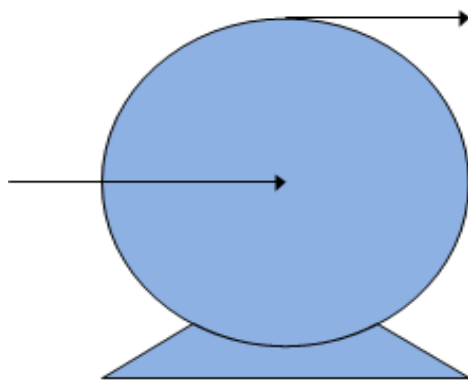


Figure II. 1 Schéma de principe d'une pompe à eau.

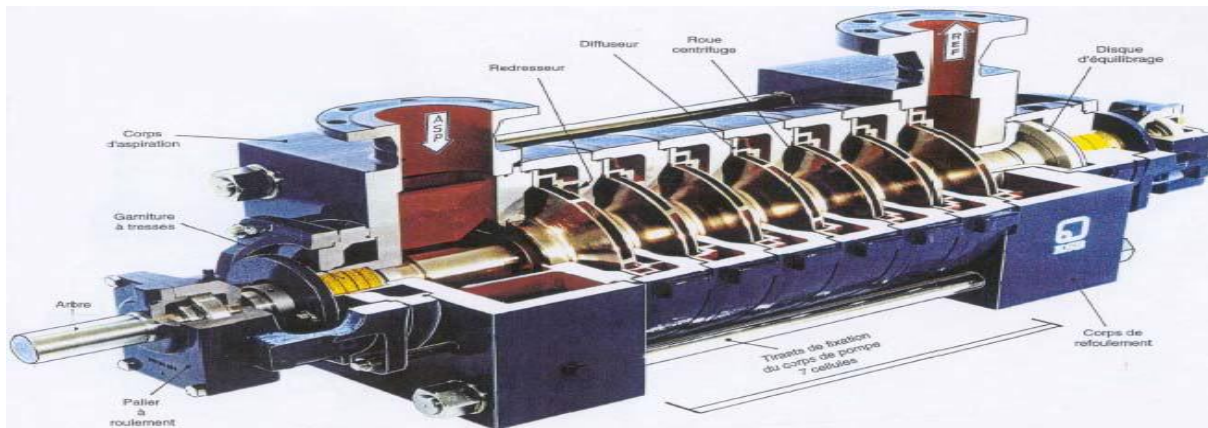


Figure II. 2 Vue écorchée d'une pompe multicellulaire.(TOTAL, 2003)

II.3.3 Chaudière :

Dans les centrales à vapeur, les apports de chaleur se font à pression constante. L'eau du circuit thermodynamique est réchauffée par contact avec une autre canalisation : d'air dans le cas des centrales à combustion (déchets, charbon, gaz), ou d'eau (d'un circuit secondaire) dans le cas des centrales nucléaires. L'extraordinaire comportement des fluides lorsqu'ils changent de phase tourne ici à notre avantage : en mélange bi-phasique, une évolution à pression constante se fait aussi à température constante, ce qui nous permet de nous rapprocher des conditions prescrites par Carnot sans avoir recours à la moindre pièce mobile. Parce qu'elle fonctionne à haute pression (au-delà de 60 bar dans les installations modernes) et qu'elle est le théâtre de transferts de chaleur et gradients de température importants, la chaudière est un élément coûteux et lourd (Figures II.4), même si son principe de fonctionnement est simple.

Lorsque la chaleur de la centrale provient d'une combustion, l'énergie thermique des gaz ne peut être transmise à l'eau du circuit que lorsque la température de cette dernière est plus faible. Ainsi, il est rejeté au-dessus de la chaudière une quantité de chaleur d'autant plus grande que la température minimale de l'eau y est haute.

Le rendement $\eta_{\text{Chaudière}} = \frac{Q_{\text{eau}}}{\dot{Q}_{\text{Source de chaleur}}}$ d'une chaudière à gaz performante avoisine usuellement les 80 %.

Comme aucun travail mécanique n'est fournie à l'eau dans la chaudière, la puissance

$\dot{Q}_{\text{Chaudière}}$ Fournie par la chaudière à l'eau s'exprime selon :

$$\dot{Q}_{\text{Chaudière}} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (\text{II.9})$$

La différence de masse volumique entre les deux phases dans la chaudière fait qu'il est difficile de surchauffer la vapeur en présence de liquide (le liquide, plus dense et donc au fond de la chaudière, est en effet plus à même d'absorber la chaleur à haute température). Nous

considérons ainsi toujours que l'eau est sous forme de vapeur saturée à la sortie de la chaudière.

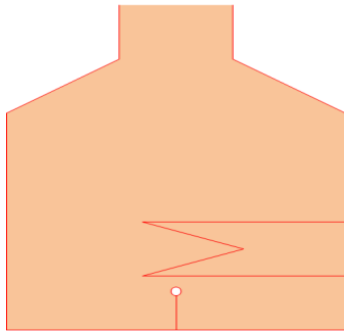


Figure II. 3 Représentation schématique d'une chaudière.

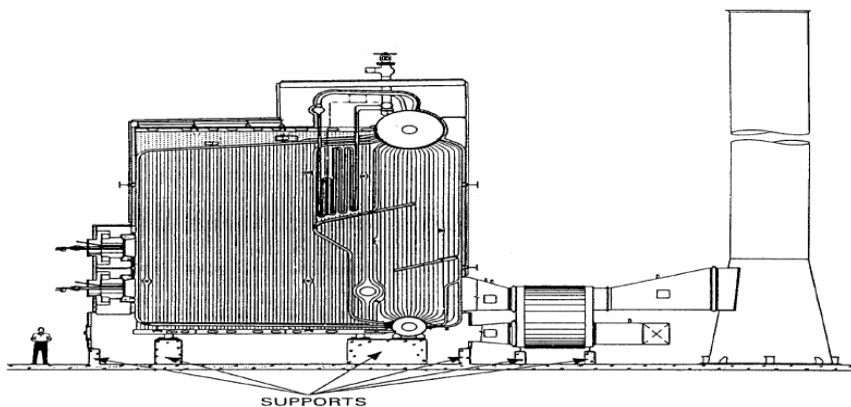


Figure II. 4 chaudière à tubes d'eau. (TOTAL, 2003)

II.3.4 Turbine :

La turbine (Figures II.5, II.6) est la pièce maîtresse de toute centrale à vapeur. Longue de plusieurs dizaines de mètres dans les installations modernes, elle est équilibrée avec grand soin, mise en place dans son coffrage et, si elle fait l'objet d'attention adéquate (minimisation des gradients de température, lubrification avancée), peut délivrer de la puissance mécanique pendant plusieurs dizaines d'années sans aucune interruption. L'efficacité d'une turbine se mesure en comparant sa puissance avec celle d'une turbine idéale (une turbine qui serait isentropique). Nous nommons ce paramètre l'efficacité isentropique η_T :

$$\eta_T = \frac{W_{Turbine \text{ réel}}}{W_{turbine \text{ isentropique}}} \quad (\text{II.10})$$

Où $\dot{W}_{Turbine \text{ réel}}$ est la puissance réelle fournie par la turbine, et $\dot{W}_{turbine \text{ isentropique}}$ la puissance d'une turbine isentropique fonctionnant avec le même débit de masse et entre les deux mêmes pressions. La puissance réelle, quant à elle, s'exprime toujours en fonction des propriétés du fluide à l'entrée et à la sortie de la turbine :

$$\dot{W}_{Turbine \text{ réel}} = \dot{m}(h_{2\text{réel}} - h_1) = \dot{m} \eta_T (h_2 - h_1) \quad (\text{II.11})$$

Nous utilisons l'équation (II.11) pour prévoir l'état de la vapeur à la sortie de n'importe quelle turbine dont la puissance et l'efficacité isentropique sont connues. Un paramètre important qui doit être surveillé est le titre de l'eau, en particulier dans les derniers étages. Les courbes isentropiques finissent toujours par croiser la courbe de saturation : dans une détente isentropique, la vapeur finit toujours par se condenser. Les gouttelettes liquides, beaucoup plus denses que la vapeur qui les entoure, percutent alors violemment les pales et en provoquent l'érosion. L'ingénieur/e thermodynamicien/ ne veillera ainsi à garder un haut titre, usuellement sans descendre en deçà de 95 %.(Cleynen, AVRIL 2015)

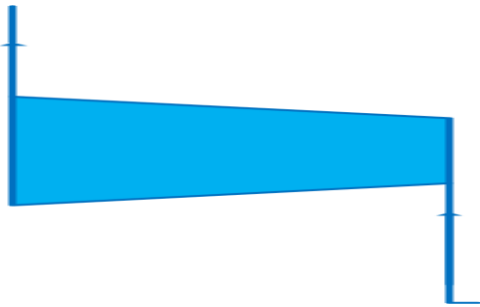


Figure II. 5 Représentation schématique d'une turbine à vapeur.



Figure II. 6 Turbine d'une centrale à vapeur de taille moyenne.

II.3.5 Condenseur :

Le condenseur (figures II.7, II.8), composant le moins glorieux de l'installation. L'eau y est toujours refroidie à pression constante, ce qui ne nécessite pas de pièce mobile. Technologiquement, le condenseur est un élément simple : on met simplement la canalisation de vapeur en contact avec un circuit de température basse. Usuellement, ce circuit de

refroidissement est constitué d'eau extérieure provenant d'une rivière ou de la mer, qui sera refroidie ensuite par évaporation dans les larges cheminées que l'on aperçoit aux abords des centrales. Comme la pression de la vapeur à l'intérieur du condenseur est souvent très basse (jusqu'à 0,1 bar) pour abaisser la température minimale du cycle de la centrale, il faut veiller à l'étanchéité du condenseur pour éviter que de l'air ou de l'eau extérieurs ne s'insèrent dans le circuit principal. La puissance perdue par la vapeur dans le condenseur s'exprime selon :

$$\dot{Q}_{\text{Condenseur}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{II.12})$$



Figure II. 7 Représentation schématique d'un condenseur.

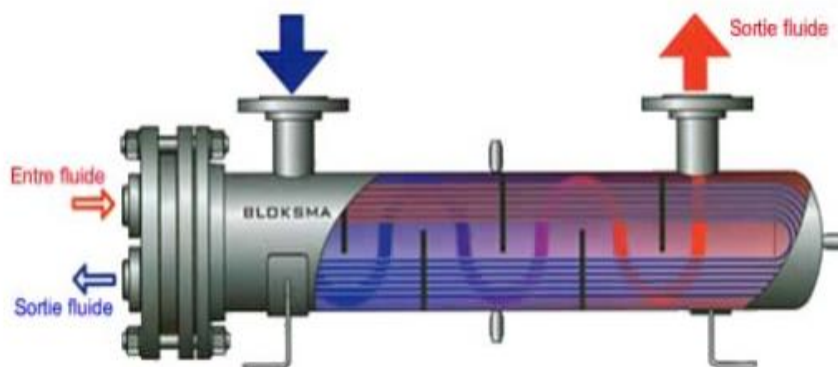


Figure II. 8 Vue écorchée d'un échangeur à tubes en "U".

II.4 Cycles moteurs à vapeur :

II.4.1 Le cycle de Carnot :

Lorsqu'on le chauffe à pression constante, la température d'un mélange liquide-vapeur reste constante, aussi la réalisation de transferts de chaleur isothermes (caractéristique importante du cycle de Carnot) est relativement aisée avec la vapeur. Une machine à vapeur basée sur un cycle de Carnot est schématisée en figures II.9 et II.10.

L'efficacité du cycle moteur de Carnot n'est atteinte que lorsque la turbine et le compresseur fonctionnent de façon isentropique. En pratique, comme nous l'avons vu, la puissance de la turbine est toujours plus faible et celle du compresseur toujours plus grande qu'elles ne pourraient l'être. (Cleynen, AVRIL 2015)

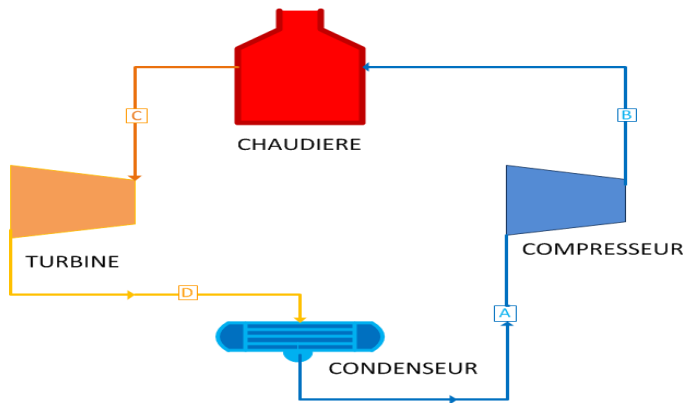


Figure II. 9 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Carnot

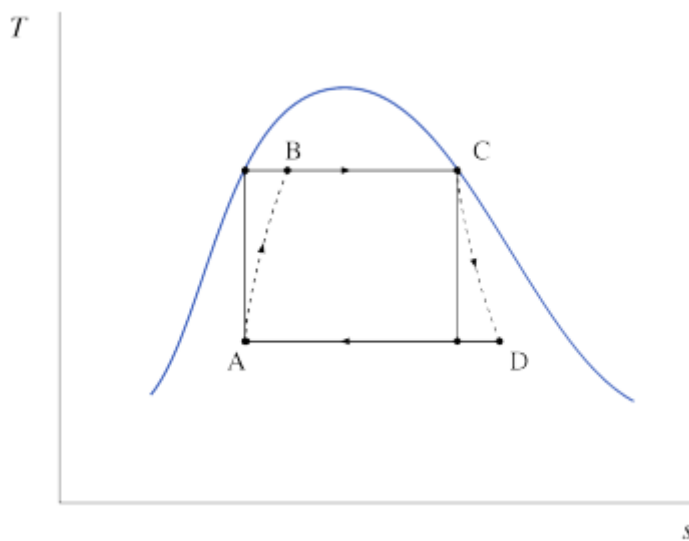


Figure II. 10 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Carnot.

II.4.2 Le cycle de Rankine :

En pratique, l'utilisation du cycle de Carnot comme décrit plus haut pose plusieurs difficultés :

- La compression d'un mélange di-phasique est technologiquement difficile.
- Dans le condenseur, il est difficile d'interrompre la condensation à un endroit précis (le point A en figures II.09 et II.10 plus haut, dont le titre est proche mais différent de zéro).

William Rankine, ingénieur anglo-saxon, propose en 1859 une modification du cycle en poursuivant la condensation jusqu'à saturation et en ne compressant l'eau qu'à l'état liquide. Une machine basée sur ce cycle est décrite en figures II.11 et II.12.

Le cycle de Rankine utilise donc une pompe à eau liquide plutôt qu'un compresseur en mélange liquide/vapeur. Technologiquement, une pompe est plus simple à concevoir, fabriquer et mettre en œuvre qu'un compresseur. Autre avantage, la compression d'un liquide est plusieurs dizaines de fois plus économe en énergie que celle du mélange. (Cleynen, AVRIL 2015)

Toutefois, cette économie d'énergie n'est pas sans contrepartie : à la sortie de la pompe (point B), l'eau est à température bien plus faible qu'elle ne l'était à la sortie du compresseur en figure II.09. C'est la chaudière qui devra ramener l'eau à l'état de liquide saturé. Autrement dit, il faut fournir une dépense supplémentaire considérable sous forme de chaleur pour compenser la baisse de puissance de compression.

On peut remarquer qu'une partie importante de la chaleur fournie par la chaudière (c'est-à-dire $q_{\text{Chaudière}} = h_c - h_B$) n'est plus apportée à la température

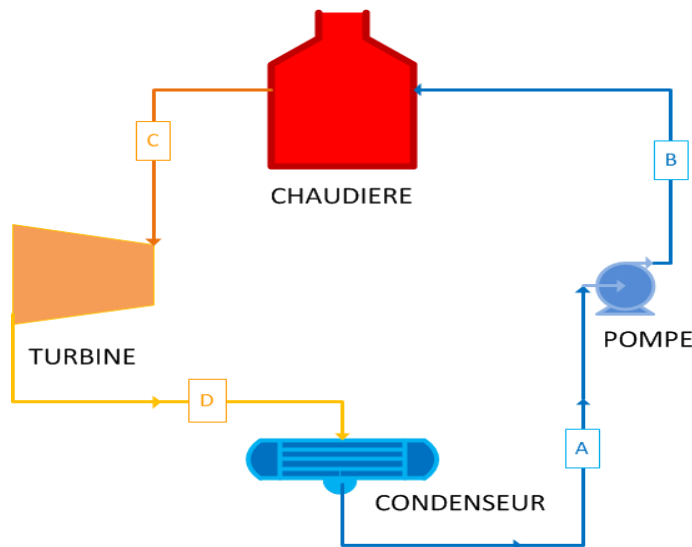


Figure II. 11 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine.

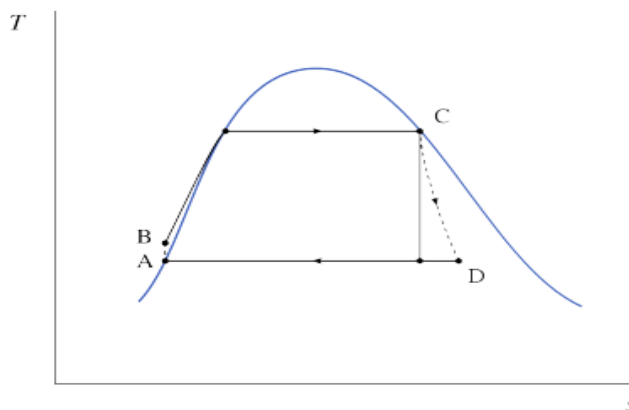


Figure II. 12 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine

II.4.3 La surchauffe :

Pour réduire la consommation spécifique d'une centrale, il est souhaitable d'augmenter la puissance développée par la turbine pour un débit de vapeur donné. Pour cela, il existe plusieurs options :

- Augmenter l'enthalpie à l'entrée de la turbine (c'est-à-dire augmenter la pression de saturation dans la chaudière). Malheureusement, cela impose à la chaudière d'être plus

résistante et plus coûteuse ; de plus, cela réduit la quantité de chaleur spécifique qu'il est possible d'y apporter, puisque l'enthalpie de vaporisation h_{LV} décroît avec la température ;

- Réduire l'enthalpie à la sortie de la turbine (c'est-à-dire diminuer la pression dans le condenseur). Cela nécessite une turbine de plus grande taille, favorise l'insertion de bulles d'air dans le circuit de vapeur, et surtout, réduit le titre de l'eau en sortie de turbine ;
- Augmenter l'enthalpie (et donc la température de la vapeur) après sa sortie de la chaudière. Cela permet d'utiliser pleinement les capacités de la turbine, dont les limites métallurgiques (généralement autour de 1 000 K) dépassent déjà souvent celles des chaudières.

C'est cette dernière option qui est très souvent choisie. On nomme cette modification **la surchauffe** : la vapeur est surchauffée à la sortie de la chaudière, à pression constante, à travers une série de tubes portés à plus haute température (Figures II.13 et II.14).

L'avantage principal de cette modification est qu'elle permet une diminution de la consommation spécifique peu complexe à mettre en œuvre. Autre avantage, l'augmentation de la température moyenne à laquelle la chaleur est apportée tend à augmenter le rendement thermodynamique. Enfin, il devient possible de décaler la plage d'utilisation de la turbine entièrement dans le domaine de la vapeur sèche : l'érosion des pales par l'eau liquide est ainsi évitée. De fait, toutes les installations à vapeur modernes utilisent un circuit de surchauffe.

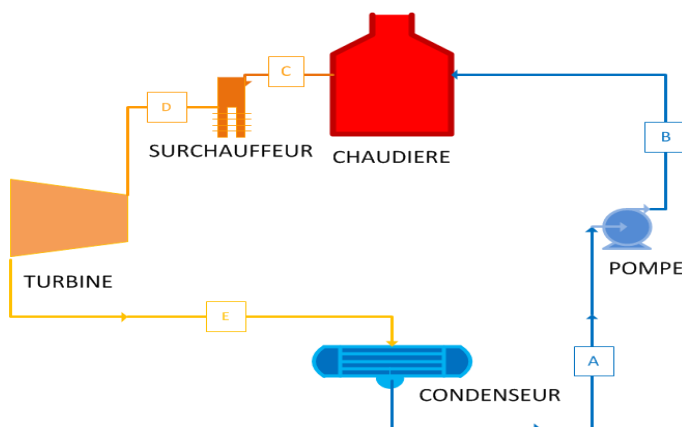


Figure II. 13 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine surchauffé.

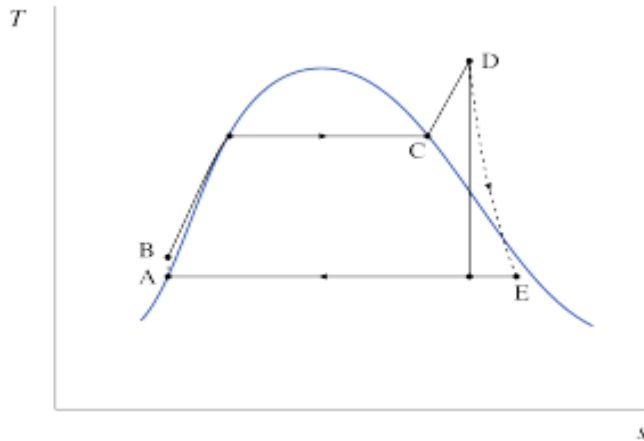


Figure II. 14 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine surchauffé.

II.4.4 La resurchauffe :

Pour augmenter à nouveau la puissance de l'installation sans augmenter le débit de vapeur (et donc sa taille globale et le coût de la chaudière), il est possible de chauffer une deuxième fois la vapeur avant sa sortie de la turbine (figures II.15 et II.16). C'est ce que l'on appelle la resurchauffe. Avec cette modification, la détente dans la turbine est interrompue et la vapeur est conduite dans une nouvelle série de tubes pour porter à nouveau sa température à haute température (usuellement aux limites métallurgiques de la turbine). La détente est alors complétée jusqu'à la pression du condenseur. Le rendement global de l'installation est augmenté si la température moyenne de chauffage l'est aussi ; il faut donc choisir avec soin la pression de la resurchauffe. La consommation spécifique, elle, est diminuée dans tous les cas, avec les avantages décrits plus haut. (Cleynen, AVRIL 2015)

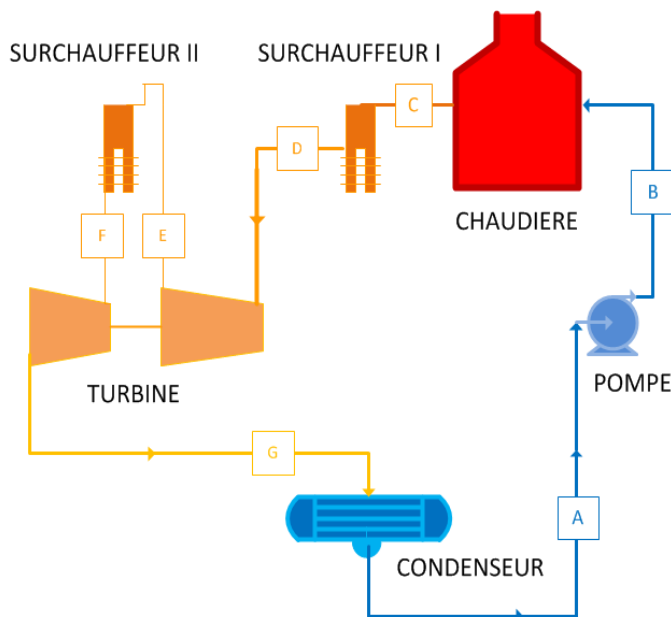


Figure II. 15 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine resurchauffé.

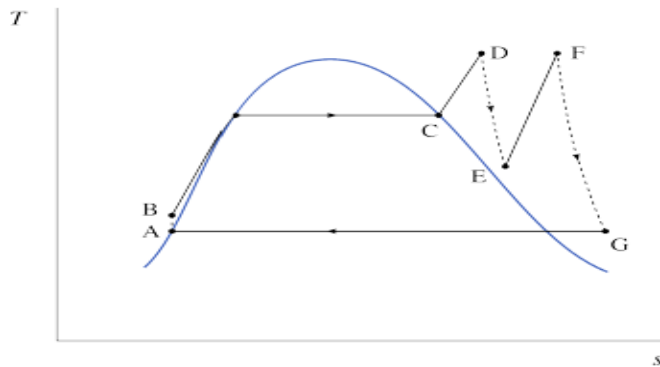


Figure II. 16 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine resurchauffé.

II.5 Avantages et inconvénients des Cycles moteur à vapeur :[13]

II.5.1 Avantages :

- Le silence de fonctionnement : il n'y a pas de détente à l'atmosphère comme dans le cas d'un moteur à combustion interne.
- Le rendement élevé : fonction, il est vrai, des températures des sources chaudes et froides. Comme il est possible de le faire fonctionner en cogénération (puissance mécanique et calorifique), le rendement global peut être très élevé.
- La multitude de « sources chaudes » possibles : combustible des gaz divers, de bois, sciure, déchets, énergie solaire ou géothermique....
- L'aptitude écologique à répondre le mieux possible aux exigences environnementales en matière de pollution atmosphérique. Il est plus facile de réaliser dans ce type de moteur une combustion complète des carburants.
- La fiabilité et la maintenance aisée la relative simplicité technologique permet d'avoir des moteurs d'une très grande fiabilité et nécessitant peu de maintenance. La durée de vie importante du fait de sa « rusticité ». Les utilisations très diverses du fait de son autonomie et son adaptabilité au besoin et à la nature de la source chaude (du mW au MW).

II.5.2 Inconvénients :

- Le prix : le frein à son développement est aujourd'hui probablement son coût, non encore compétitif par rapport aux autres moyens bien implantés. Une généralisation de son emploi devrait pallier ce problème inhérent à toute nouveauté.

- La méconnaissance de ce type de moteur par le grand public. Seuls quelques passionnés en connaissent l'existence.
- La variété des modèles empêche une standardisation et par conséquent une baisse de prix.
- Les problèmes technologiques à résoudre : les problèmes d'étanchéité sont difficiles à résoudre dès qu'on souhaite avoir des pressions de fonctionnement élevées. Le choix du gaz ' idéal', à savoir l'hydrogène pour sa légèreté et sa capacité à absorber les calories, se heurte à sa faculté de diffuser au travers des matériaux. Les échanges de chaleur avec un gaz sont délicats et nécessitent souvent des appareils volumineux.(Cleynen, AVRIL 2015)

III.1 Introduction :

Les principaux flux entrant en jeu dans la production/transformation d'énergie au niveau de la centrale thermoélectrique sont représentés ci-dessous.

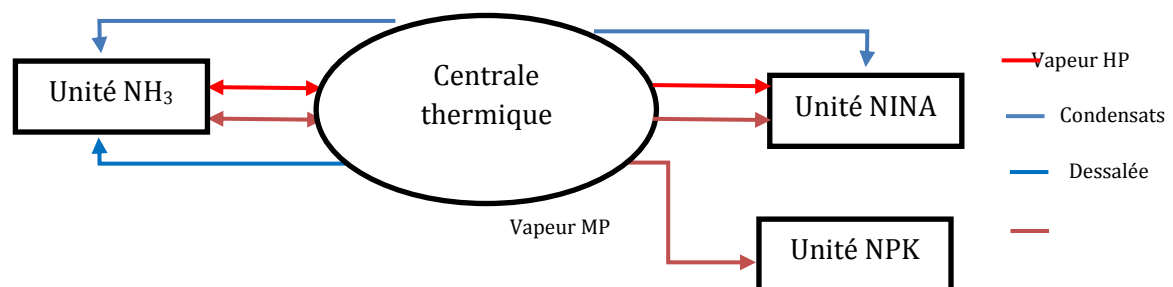


Figure III. 1 Cartographie présentant les entrées et les sorties des différentes unités.

La vapeur HP provient essentiellement de l'unité NH₃. En cas de perturbation de la production dans ce dernier (ex : arrêt d'une ligne), le débit de vapeur arrivant à la centrale diminue et il est nécessaire de le compléter par un appoint obtenu grâce aux chaudières auxiliaires de la centrale (lesquelles fonctionnent au gaz naturel et consomment de l'eau déminéralisé).

La vapeur HP est détendue dans le GTA, une fraction du débit initial étant soutirée à la sortie du premier étage afin de fournir de la vapeur MP nécessaire au procédé. La fraction restante est entièrement détendue afin de produire de l'électricité, puis condensée par refroidissement à l'eau de mer.

Il est important de signaler que la priorité est donnée à la production de vapeur MP, en fonction de la demande des ateliers du site. En cas de forte demande, le débit de soutirage est important ce qui a un impact négatif sur la production d'électricité.

En vue d'établir le bilan énergétique de la plateforme de central utilité, nous analyserons dans la suite sa consommation d'énergie thermique (boucle eau-vapeur) et électrique.(SONATRACH, 1984)

III .2 Échanges d'énergie :

III.2.1 Les Producteurs de la vapeur :

Les principaux producteurs de la vapeur sont clairement identifiés et ils sont comme suit : chaudière I, chaudière II et l'unité NH₃. La production de la vapeur est dirigée vers le GTA et lesconsommateurs.

III.2.2 Les consommateurs de la vapeur :

Les principaux consommateurs de la vapeur sont nombreux,et ils sont comme suit :

- Condenseurs auxiliaires + Dégazeur thermique + Dessaleurs l'eau de mer.
- Unité NH₃.
- Unité NINA (Acide nitrique +Nitrate d'ammonium).
- Engrais(NPK).

III.2.3 Caractéristiques des échanges :

La consommation de vapeur se répartit comme suit :

	Nombre	Consommation Unitaire de vapeur HP	Consommation Unitaire de vapeur MP
Dégazeur thermique	1	-	10 t/h
Dessaleurs l'eau de mer	2	-	54 t/h
Condenseurs auxiliaires	1	-	3 t/h
Unité NH ₃	1	30 t/h	15 t/h

Unité NINA	1	10 t/h	05 t/h
NPK	1	-	10 t/h

Tableau III. 1 répartition de la consommation de vapeur.

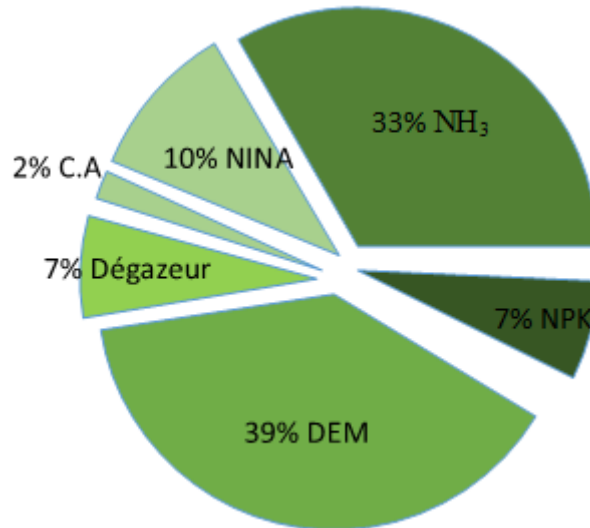


Figure III. 2 répartition de la consommation de la vapeur.

La majeure partie de la vapeur MP est consommée par les dessaleurs l'eau de mer, et notamment par l'unité NH₃. La production de NH₃ et la marche des dessaleurs ainsi la consommation de vapeur MP, donc les besoins en soutirage. Par conséquent, elle a un impact considérable sur la production d'énergie électrique.

Les producteurs de l'énergie électrique :

Ce sont les GTA qui produisent de l'énergie électrique dans tout le complexe chimique Fertial annaba. Comme on a déjà vu, la source principale de cette énergie est la vapeur à l'entrée de ces groupes.

III.2.4 Les consommateurs de l'énergie électrique :

Les principaux consommateurs de l'énergie électrique sont :

Départ unité NH₃ 1.

Départ unité NH₃ 2.

Bac de stockage NH₃.

Départ unité NI-NA 1.

Départ unité NI-NA 2.

Départ unité CENTRAL THERMO-ELECTRIQUE 1.

Départ unité CENTRAL THERMO-ELECTRIQUE 2.

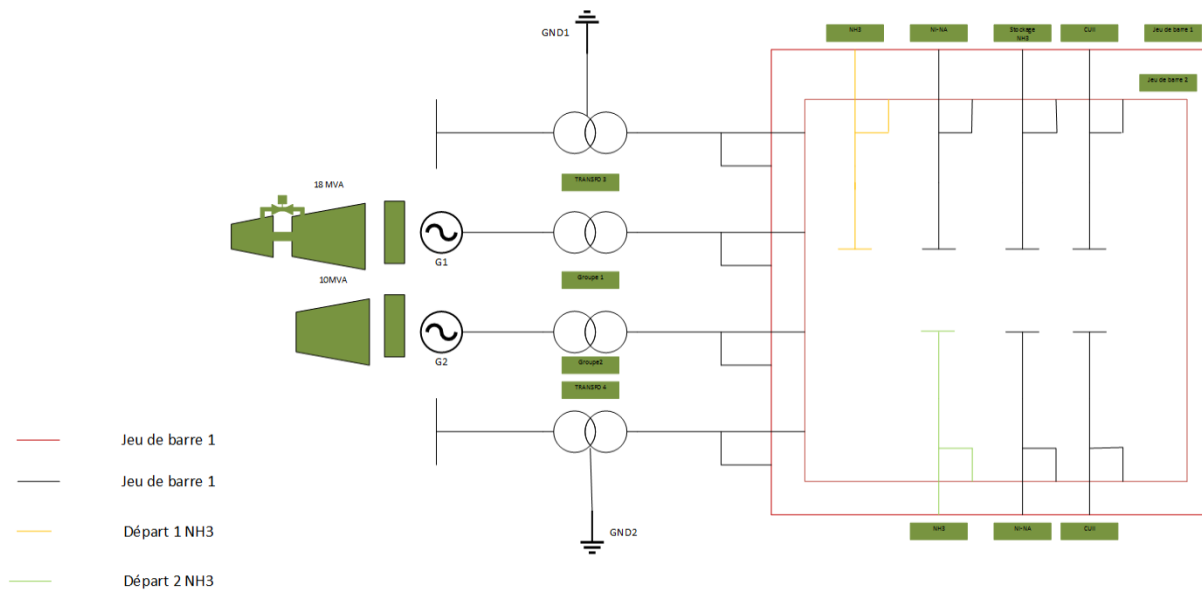


Figure III. 3 Schéma synoptique présentant les consommateurs de l'énergie électrique .

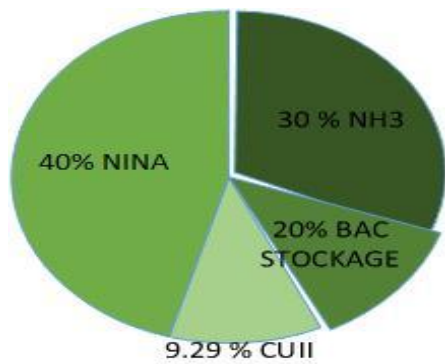


Figure III. 4 Répartition de la consommation d'énergie électrique.

III.3 La problématique :

Les principales ressources concernées par les activités d'usine sont l'eau et l'énergie.

L'économie dans l'utilisation de la ressource énergétique relève aussi bien de l'amélioration de la compétitivité d'usine, à travers la réduction des coûts, que de la contribution à l'effort national en matière d'économie d'énergie. Dans une dynamique de recherche permanente de solutions appropriées pour réaliser ses objectifs, l'usine a mis en œuvre plusieurs réalisations et actions majeures :

- L'amélioration des procédés de production et d'exploitation de l'énergie générée par les processus industriels de la production des différents produits.
- Les mesures de rationalisation de la consommation de l'énergie électrique au niveau de l'ensemble des installations industrielles d'usine.

L'objet de ce travail est de modéliser et analyser le bilan énergétique de la centrale thermique de Ferial Annaba.

L'entreprise en vue de mieux comprendre son évolution et les facteurs qui l'affectent tout en raisonnant sur la production, consommation et échange de l'énergie électrique. D'une part, après une modélisation statistique des fonctions économiques, il ne sera plus difficile de bien comprendre l'évolution de la situation et le bilan énergétique.

D'autre part, la maximisation de la production en minimisant le coût d'échange d'énergie électrique est une action, fruit de la mise en place d'une gestion de production selon les tranches horaires.

III.4 Etude de la centrale thermique:

III.4.1 La boucle eau-vapeur :

La vapeur produite par les soutirages des groupes s'ajoute à celle produite par l'unités NH_3 , pour être consommée par l'atelier NPK, l'atelier NI-NA, et le réchauffage de la bache alimentaire, une partie de cette vapeur de l'ordre de 54 t/h, est détendue et utilisée pour être consommée comme vapeur basse pression pour les dessaleurs d'eau de mer.

Après utilisation de la vapeur par les différents consommateurs, elle est retournée à la centrale sous forme de condensât qui sont collectés au niveau d'une bache à condensât qui sont pompé vers la bache alimentaire à travers d'un dégazeur thermique. Ce dégazeur a pour objectif d'éliminer l'oxygène dissous dans l'eau alimentaire pour éviter les problèmes de corrosion, cette opération de dégazage est complétée par un dégazage chimique par l'injection de sulfite de soude. Cette eau est pompée par des pompes alimentaires de débit unitaire 50 m³/h et 60 bar vers les chaudières pour se transformer en vapeur haute pression. Les pertes de cette boucle eau vapeur au niveau du complexe soit sous forme vapeur, eau alimentaire ou condensât sont compensées par un appoint d'eau déminéralisée au niveau de la bache à condensât. (SONATRACH, 1984)

III.4.1.1 Réseau Vapeur haute pression (HP) :

La vapeur HP produite à partir de l'eau alimentaire par les Chaudières de récupération installées à l'atelier d'ammoniac et les deux chaudières, est envoyée vers le barillet HP à une pression de 42 bars et une température de 420°C.

Cette vapeur sert à :

- Alimenter les deux groupe turbo alternateurs (GTA) et les boites d'étanchéité de la turbine ;

- Alimenter le barillet MP en contournant la vapeur HP en vapeur MP après sa détente et sa désurchauffe.
- Alimenter le barillet BP en contournant la vapeur HP en vapeur BP après sa détente et sa désurchauffe.
- Alimenter l'atelier NI-NA et Ammoniac.

III.4.1.2 Réseau Vapeur moyenne pression (MP) :

La vapeur MP est prélevée à une pression entre 4.5 et 5 bars au soutirage MP des turbines.

Elle est désurchauffée à environ 156 °C, après son passage dans le barillet MP, est envoyée vers :

- L'atelier NI-NA ;
- Le dégazeur de la bâche alimentaire ;
- Détente pour production de la vapeur BP
- L'atelier NPK ;
- L'atelier NH₃ ;

III.4.1.3 Vapeur basse pression (BP) :

Après la détente et la désurchauffe de la vapeur MP en vapeur BP de 1,7 bars et de 120°C, elle est utilisée pour l'alimentation des dessaleurs d'eau de mer et l'excès est envoyée vers un condenseur auxiliaire.(SONATRACH, 1984)

III.4.2 Groupe turbo alternateur (GTA) :

La centrale thermoélectrique dispose de deux groupes turbo alternateurs (GTA) l'une puissance de 18 MW et autre de 10 MW, et d'une tension de 05 KV, qui assurent la détente de la vapeur HP produite par les deux chaudières de l'atelier centrale II en transformant l'énergie thermique de cette vapeur en énergie électrique. Chaque GTA est constitué de :

III.4.2.1 Une turbine à vapeur :

C'est une machine motrice dans laquelle un fluide (vapeur) produit le travail moteur par le seul effet de son écoulement, les forces propulsives provenant de cet écoulement étant directement appliquées à un organe moteur (rotor). Dans les turbines à vapeur alimentées à partir d'un générateur de vapeur, la pression initiale est toujours élevée. Quant à la température d'admission est liée à la nature et les caractéristiques des matériaux utilisés.

La turbine installée à la centrale thermoélectrique de fertila annaba est une turbine à action multicellulaire à soutirage et à Condensation dotée de deux corps : HP « haute pression » et BP « basse pression » où une quantité de vapeur MP est soutirée du premier étage tandis qu'une autre de vapeur BP est soutirée à partir du dernier étage.Elle transforme l'énergie

calorifique de la vapeur en travail, cette transformation n'est pas effectuée directement, l'énergie calorifique étant tout d'abord convertie en énergie cinétique par la détente de la vapeur dans un aubage fixe (aillette), il en résulte un jet de vapeur sortant de l'aubage à une très grande vitesse. Cet aubage de par sa construction dirige la vapeur de telle sorte qu'elle attaque l'aubage de la roue sous un angle convenable permettant d'obtenir le meilleur rendement possible.

Chaque turbine est équipée d'un système d'étanchéité constitué par deux boîtes de types à labyrinthe qui sont installées aux deux extrémités de l'arbre. Ce système est destiné à :

- Empêcher toute entrée d'air dans la turbine pendant le démarrage ainsi que pendant la marche normale.
- Empêcher toute fuite de la vapeur vers les paliers de la turbine.
- Récupérer les fuites de vapeur.

III.4.2.2 Un alternateur :

Générateur de courant électrique alternatif destiné à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (18 MW ; 05 KV). Il est équipé de :

- Un rotor qui tourne à l'intérieur du stator (bobines fixes) à une vitesse constante de 1500 tr/min ;
- Deux réfrigérants et d'un Groupe moto-ventilateur de soufflage d'air ambiant pour assurer le refroidissement de l'alternateur (la source froide est l'eau de NORIA)
- Une excitatrice des bobines à courant continu

III.4.2.3 Un poste d'huile de régulation :

Une centrale d'huile HP extérieure séparée du dispositif assure l'alimentation du système des soupapes d'admission à une pression de 130 bars. Son rôle est d'assurer l'énergie motrice nécessaire au servomoteur hydraulique de la vanne de régulation (les soupapes d'admission HP). La centrale HP d'huile de régulation est composée essentiellement de :

- Une caisse à huile en acier
- Deux groupes AC motopompes volumétriques. En marche normale, une seule pompe est en service, l'autre est en réserve.
- Un accumulateur : son rôle est le maintien de la pression pendant les périodes transitoires de la reprise de la pompe de secours.
- Un filtre double.
- Un groupe de réfrigération.

III.4.2.4 Réseau condensat :

Le système des eaux condensées a pour mission la récupération des divers condensats et permet leur conditionnement et leur traitement avant d'être renvoyés vers la bache alimentaire. Le réseau condensats comprend essentiellement :

- Deux bache à condensats.
- 03 pompes de reprise.

III.4.2.5 Système d'eau alimentaire :

Ce système est destiné à assurer le conditionnement des condensats avant d'être retournées vers les Chaudières par leur réchauffage et leur dégazage, et d'avoir une réserve d'eau alimentaire afin de garantir une marche stable des équipements.

Caractéristiques de l'eau alimentaire données par le constructeur [1] :

- PH : entre 8.7 et 9.4 ;
- Conductivité à 25°C : $0.2 < 5 \mu\text{s/cm}$;
- Silice Max : 0.005 mg/l ;
- Solide dissous Max : 0.010 mg/l ;
- MES max : 0.015 mg/l
- O2 dissous Max : 0.005 mg/l ;
- Injection sulfite de soude : 0.005 à 0.020 mg/l ;
- Conditionnement pour PH : morpholine.

Le réseau d'eau alimentaire se compose essentiellement de :

- Deux baches alimentaires.
- Deux dégazeurs.
- Quatre pompes multicellulaires d'eau alimentaire.

III.4.2.6 Circuit NORIA :

C'est une eau douce de réfrigération, Il a comme mission la réfrigération des auxiliaires :

- L'alternateur (Refroidisseurs Alternateur).
- L'huile de graissage des GTA (Refroidisseurs d'huile de graissage).
- L'huile de régulation de la turbine (Réfrigérant d'huile de régulation).
- Les compresseurs d'air de l'unité TED.

C'est un circuit semi ferme, un appoint d'eau distillé est assuré en permanence dans la bache de réfrigération.

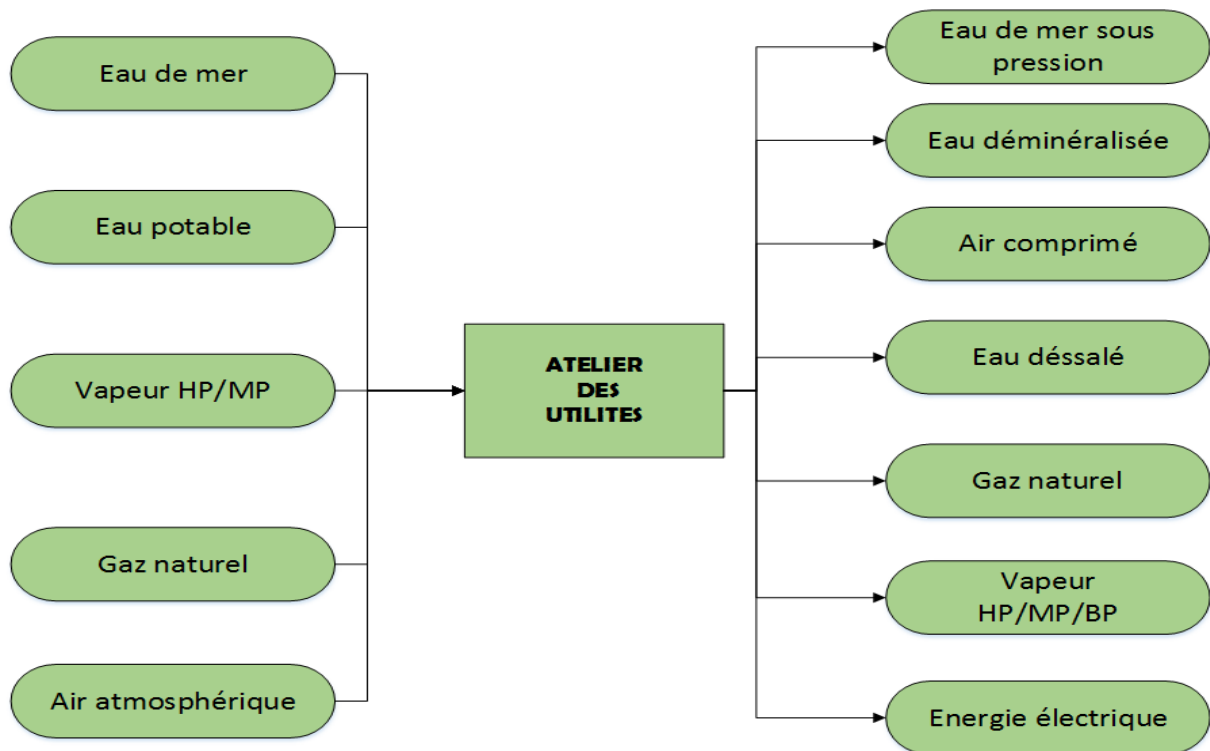


Figure III. 5 Schéma bloc de l'atelier des utilités

III.5 Bilan énergétique globale de la centrale thermique :

III.5.1 Introduction :

Un bilan massique ou thermique d'une entité de production est une comparaison entre la somme des courants d'entrée et celle des courants de sortie ; en vue de tirer le rendement global de l'entité et évaluer ses performances. Ceci nous renseigne automatiquement sur la valeur des pertes qu'il faut essayer de localiser et chercher à les minimiser.

Le bilan nous donne aussi une idée claire sur les cas de marche ayant un rendement élevé, mais aussi sur les cas qu'il faut éviter vu le rendement faible.

III.5.2 Modélisation du cycle de Hirn a soutirage :

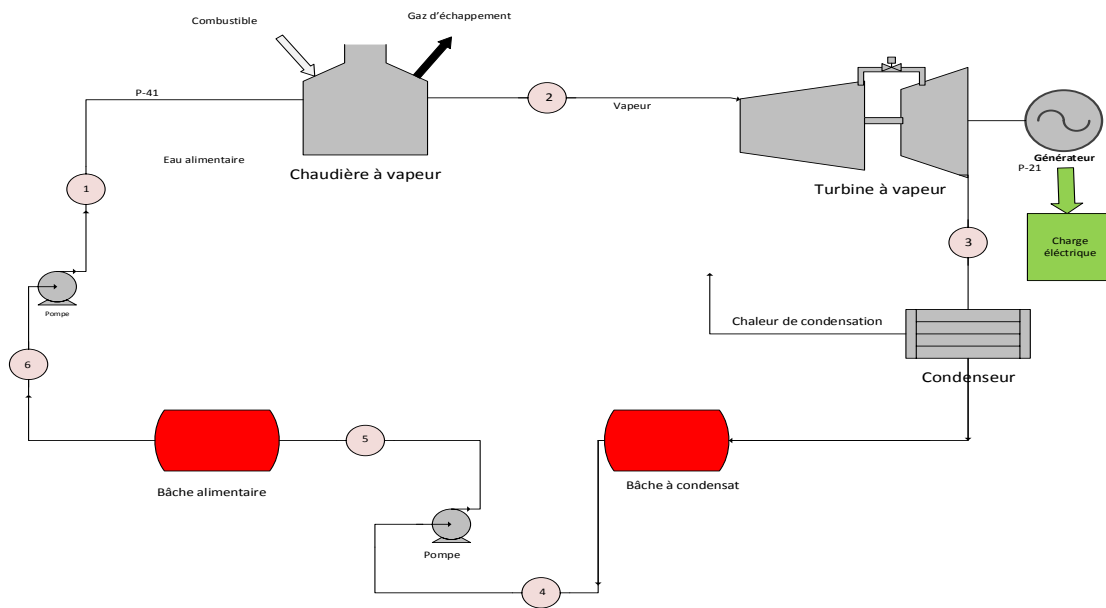


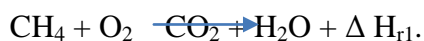
Figure III. 6 cycle de Hirn a soutirage .

- Du point 1 au point 2 : Transfert de chaleur au fluide. La chaleur est produite par un combustible. L'eau entre dans la chaudière, absorbe la chaleur produite et en sort sous forme de vapeur surchauffée.
- Du point 2 au point 3 : Détente. La vapeur traverse la turbine en y perdant sa pression. L'enthalpie perdue par la vapeur est transformée en travail par la turbine en rotation.
- Du point 3 au point 4 : Rejet de la chaleur de condensation dans le milieu ambiant lors de la transformation de la vapeur en eau dans un condenseur.
- Du point 4 au point 5 et du point 6 au point 1 : Augmentation isentropique de la pression d'eau alimentant de la chaudière à vapeur au moyen d'une pompe. L'eau entre dans la pompe en tant que liquide saturé et en sort sous forme de liquide sous-refroidi. Le travail exigé ce changement d'état, c'est à dire le travail fourni par la pompe, est généralement une fraction du travail produit par la turbine (typiquement 5 %).

III.5.3 Transfert thermique dans le générateur de vapeur :

III.5.3.1 Puissance fournie au système :

La production de chaleur se fait par une combustion de gaz naturel dans la chambre de combustion de la chaudière, la réaction de combustible qui se produit est la suivante :



La puissance fournie par cette réaction est calculée par la relation :

$$P_{Comb} = Q_m(CH_4) \cdot \frac{\Delta H_{r1}}{M(CH_4)} \cdot$$

Avec :

$Q_m(CH_4)$: Le débit massique de gaz, g/h.

ΔH_{r1} : L'enthalpie de la réaction de combustion, Kj/mol de CH_4 .

$M(CH_4)$: La masse molaire de CH_4 , g/mol.

D'où :

$$P_{Comb} = 6000000 \cdot \frac{74.4}{16,04} = 27219512.2 \frac{KJ}{h}$$

$$P_{Comb} = 7.56 \text{ MW}$$

III.5.3.2 Gaz rejeté par la cheminée :

Le gaz rejeté par la cheminée est composé essentiellement de CO_2 de H_2O de CO de l'Oxygène et de l'Azote.

- La puissance perdue par CO_2 rejeté : $P_{CO_2 ch} = 0.82 \text{ MW}$.
- La puissance perdue par H_2O rejeté : $P_{H_2O ch} = 0.21 \text{ MW}$.
- La puissance perdue par CO rejeté : $P_{CO ch} = 0.0052 \text{ MW}$.
- La puissance perdue par O_2 rejeté : $P_{O_2 ch} = 0.033 \text{ MW}$.
- La puissance perdue par N_2 rejeté : $P_{N_2 ch} = 1.46 \text{ MW}$.

Ce qui donne une puissance totale perdue par la cheminée qui vaut : 2.53 MW

III.5.3.3 Puissance récupérée par le système :

La puissance récupérée par le système est celle captée par l'eau alimentaire et par la vapeur d'eau au niveau de la chaudière et des échangeurs afin de produire de la vapeur HP.

$$P_{Recup\ érée} = P_{Fournie} - P_{Perdue}$$

$$P_{Recup\ érée} = 7.56 - 2.53 = 5.03 \text{ MW}$$

III.5.3.4 Rendement du générateur de vapeur :

$$\eta_{GV} = \frac{P_{Recup\ érée}}{P_{Fournie}} = \frac{5.03}{7.56} = 0.66 = 66\%$$

III.5.4 La détente dans la turbine:

Le travail produit par la turbine dépend de la quantité de vapeur soutirée par unité de temps.

La turbine à vapeur a toujours besoin d'un débit minimum de vapeur de contrepression. Le

taux maximum de vapeur qui peut être soutirée dépend des spécifications de la turbine ainsi que de la pression au point de soutirage et du diamètre de la tuyère de sortie de vapeur.

La puissance produite par la turbine :

$$W_{dét} = m [e(h_2 - h_3) + (1 - e) \cdot (h_2 - h_4)]. \text{(René Bidard, 1979)}$$

Où W est la puissance produite, m est le débit massique de vapeur alimentant la turbine, e est le taux maximum d'extraction de vapeur, exprimé sous la forme d'une fraction, h_2 est l'enthalpie de la vapeur alimentant la turbine, h_3 est l'enthalpie de la vapeur soutirée, h_4 est l'enthalpie de la vapeur sortant de la turbine. (René Bidard, 1979)

Les enthalpies et les entropies massiques peuvent être directement obtenues au moyen du diagramme de Mollier ou à l'aide du logiciel Steam Tab Companion.

III.5.4.1 Indice de qualité de la vapeur :

L'indice de qualité de la vapeur sortant de la turbine est obtenu à partir de l'entropie de l'eau pouvant commencer à apparaître en sortie de turbine et de l'entropie de la vapeur sortant de la turbine, selon la formule suivante qui s'adresse au mélange à deux phases :

$$X = \frac{S_s - S_l}{S_v - S_l}$$

Où, x est l'indice de qualité de la vapeur sortant de la turbine, S_s l'entropie de la vapeur sortant de la turbine,

S_l l'entropie de l'eau alimentant la chaudière à vapeur mais à la pression en sortie de turbine, et S_v l'entropie de la vapeur saturée à la pression en sortie de turbine. L'indice de qualité de la vapeur donne une idée sur le taux d'humidité de la vapeur.

$$S_s = 6.84391 \frac{KJ}{Kg.C} \quad .S_l = 1.36335 \frac{KJ}{Kg.C} \quad .S_v = 7.83391 \frac{KJ}{Kg.C}$$

$$X = 0.847.$$

	Débit (T/h)	Température (C°)	Pression (Bar)	Enthalpie (KJ/Kg)
Admission	42	420	42	3258.32
Soutirage	32	156	5	2778.87
Echappement	10	70	1.7	293.179

Tableau III. 2 Caractéristiques de la vapeur.

D'après ces valeurs on a trouvé une puissance qui vaut :

$$W_{dét} = 36.10 \text{ MW}$$

III.5.4.2 Rendement de la turbine :

Le rendement de la turbine est le rapport de la puissance mécanique à l'accouplement fournie à l'alternateur (P_t) et la puissance emmagasine dans la vapeur donnée à la turbine au cours de la détente ($W_{dét}$).

$$\eta_{Turbine} = \frac{P_t}{W_{dét}}$$

III.5.4.3 Rendement de l'alternateur :

Le rendement de l'alternateur est le rapport de la puissance électrique aux bornes de l'alternateur P_u et la puissance à l'accouplement fournie par la turbine (P_t).

$$\eta_{Alternateur} = \frac{P_u}{P_t}$$

III.5.4.4 Rendement de GTA :

Le rendement des groupes turbo alternateur est le produit du rendement de la turbine et de l'alternateur, d'où :

$$\eta_{GTA} = \eta_{Alternateur} \cdot \eta_{Turbine}$$

$$\eta_{GTA} = \frac{\frac{P_t}{W_{dét}}}{\frac{P_u}{P_t}} = \frac{P_u}{W_{dét}}.$$

III.5.4.5 Puissance utile de l'alternateur :

Elle est calculée soit directement par l'indicateur de la salle de contrôle ou par calcul.

$$P_u = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Où :

U : La tension.

I : Le courant.

$\cos \varphi$: Le déphasage.

On va calculer le rendement de GTA avec les paramètres de garantie donnée par le constructeur.

$P_u = 16 \text{ MW}$ (Donner par le constructeur)

Ce qui nous donne un rendement du groupe turbo-alternateur qui vaut :

$$\eta_{GTA} = \frac{16}{36.10} = 0.44 = 44\%.$$

III.5.5 Transfert thermique au condenseur [3] :

Calcul de la quantité de chaleur échangée au condenseur 3-4 :

Hypothèse : $P_3 = P_4 = 9.5 \text{ bar}$

L'application du premier principe permet d'écrire :

$dh = \delta W_m + \delta q$ Or $\delta W_m = 0$. Puisqu'il n'y a pas de parties mobiles dans le condenseur.

D'où : $dh = \delta q$.

Soit après intégration :

$$\Delta h_{3,4} = h_4 - h_3 .$$

$$\Delta h_{3,4} = 293.179 - 2778.87 = -2485 \text{ KJ/Kg}.$$

Le signe négatif indique que cette énergie est cédée par l'unité de masse d'eau, cette énergie est reçue par le fluide du circuit de refroidissement.

III.6 Paramètres de fonctionnement des GTA :

En vue d'optimiser la conversion d'énergie thermique en énergie électrique par les GTA, nous allons étudier l'influence de certains paramètres sur la puissance fournie.

Les paramètres de marche actuels différant des valeurs nominales conseillées par le constructeur, l'objectif est d'évaluer les éventuelles pertes de rendement et leur impact sur la production d'électricité. Nous évaluerons, en particulier, l'intérêt de Les paramètres testés seront la température et la pression d'admission, ainsi que la pression de soutirage.

III.6.1 Température d'admission :

En supposant que le rendement des GTA n'est pas affecté par un changement de température de la vapeur d'admission, étudions l'effet de la variation de la température de de la vapeur d'admission sur la puissance électrique produite.

Hypothèse :

- Admission : 42 T/h , 42 bar

- Soutirage : 32 T/h , 05 bar

<i>Température d'admission (°C)</i>	<i>Température de soutirage (°C)</i>	<i>Puissance (MW)</i>
390	138	15.80
400	142	15.92
410	148	16.02
420	156	16.10

Tableau III. 3 La puissance en fonction de la température d'admission.

En répétant le calcul pour des valeurs de débit différentes, on obtient des résultats comparables. La variation relative de la puissance en fonction de la température et par rapport à la température nominale, est représentée ci-dessous :

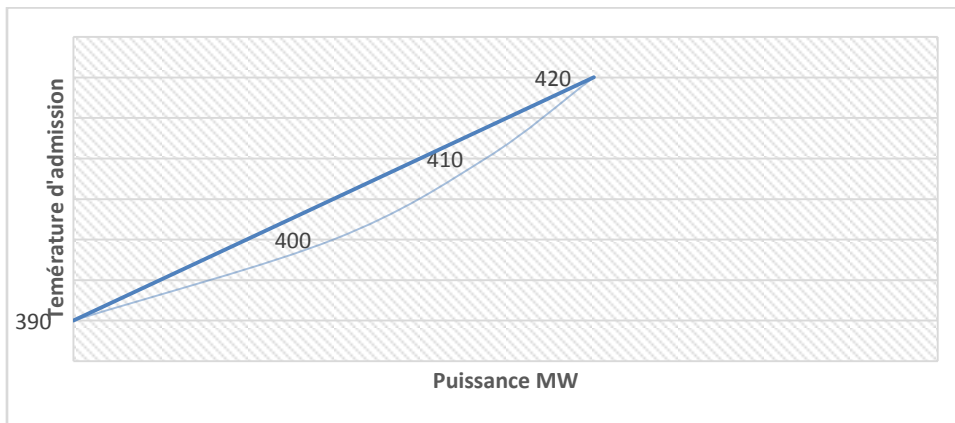


Figure III. 7 variation de la puissance relative en fonction de la température d'admission.

On constate qu'une augmentation de 10°C de la température de la vapeur d'admission entraîne une augmentation d'environ 1,3% de la puissance produite, soit 0,2 MW en moyenne.

III.6.2 Pression à l'admission :

En supposant que les rendements des GTA ne dépendent pas de la variation de la pression, et n'ont pas affecté par un changement de température de la vapeur d'admission, étudions l'effet de la variation de la pression à l'admission sur la puissance électrique produite.

- Admission : 42 T/h , 420 C.

- Soutirage : 32 T/h , 156 C.

<i>Pression d'admission (bar)</i>	<i>Pression de soutirage (bar)</i>	<i>Puissance (MW)</i>
38	3.4	14.5
38.5	3.6	14.83
39	3.8	14.91
39.5	4	15.05
40	4.2	15.30
41	4.8	15.70
42	5	16.26

Tableau III. 4 La puissance en fonction de la température d'admission.

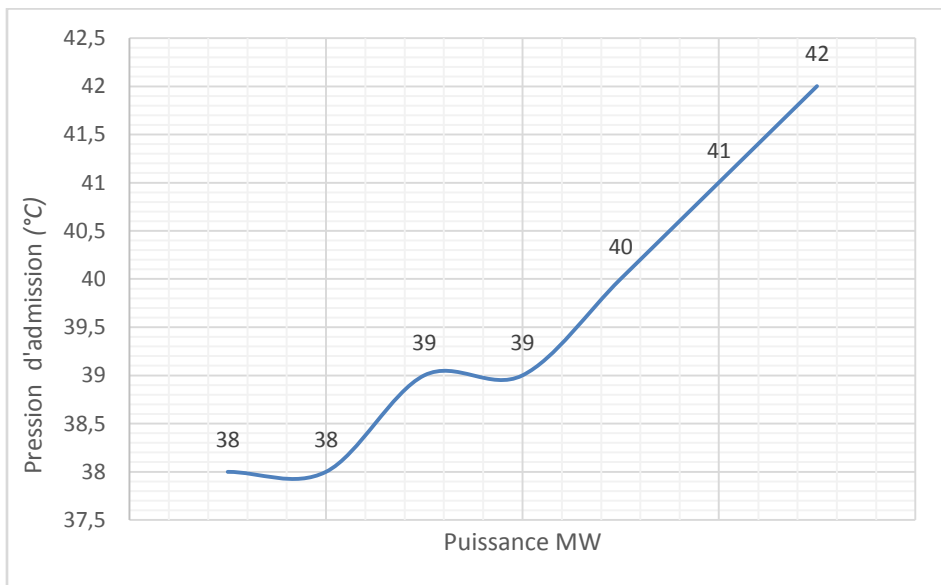


Figure III. 8 Variation de la puissance relative en fonction de la pression d'admission

En comparant les résultats obtenus avec celle dans la documentation du fournisseur, On a constaté que les résultats sont cohérents entre 38 et 39 bars, et que la puissance relative présente un maximum au niveau de la pression nominale (42 bar), elle diminue de 0,5% lorsqu'on s'éloigne de cette pression.

III.6.3 Débit d'admission :

En supposant que le rendement des GTA n'est pas affecté par un changement de débit d'admission, étudions l'effet de cette variation sur la puissance électrique produite.

Hypothèse :

- Admission : 42 bar ; 420 °C
- Soutirage : 32 t/h ; 5 bar.

Débit d'admission t/h	Débit de soutirage t/h	Puissance MW
34	24	13
36	26	14
38	28	14.4
40	30	15.1
42	32	16.60

Tableau III. 5 La puissance en fonction du débit d'admission.

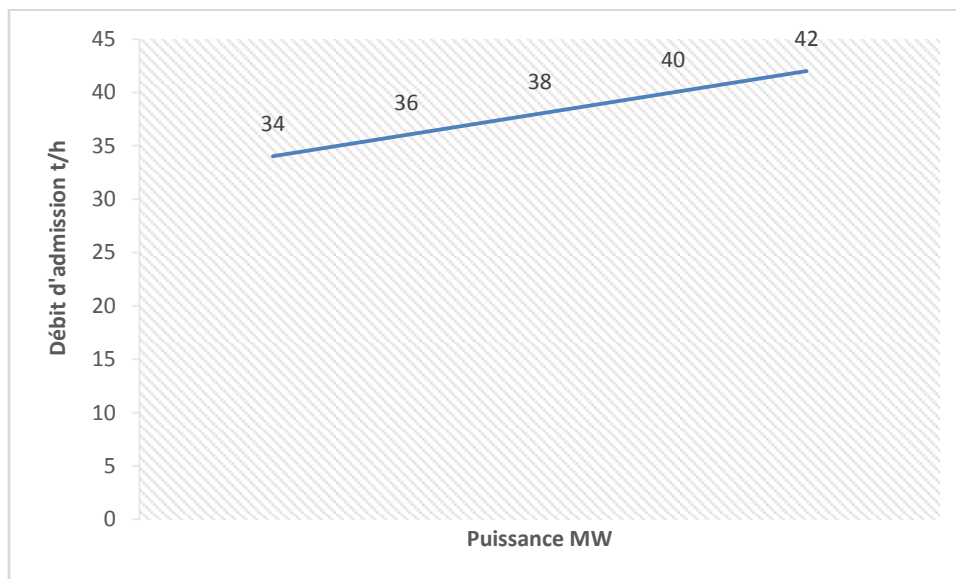


Figure III. 9 Variation de la puissance relative en fonction de débit d'admission

Les calculs ont été effectués pour des valeurs de débit d'admissions comprises entre 34T/h et 42T/h et permettent de conclure qu'une augmentation de débit de 8 T/h non soutiré, entraîne une augmentation de puissance d'environ 3.6 MW.

VI.1 Introduction :

Les deux chaudières de la centrale thermique ont pour rôle principal, le démarrage du complexe et l'appoint de la vapeur en cas de besoin des unités.

En plus de ces deux rôles et vu les contraintes que pose l'achat de l'énergie électrique de SONALGAZ, il est nécessaire d'étudier la rentabilité de la production de l'énergie par les chaudières en comparant le prix du MW produit à celui acheté de SONALGAZ et en déduire la production optimale.

VI.2 Calcul du coût d'une tonne de vapeur produite par la chaudière :

VI.2.1 Les différentes catégories de charges :

Devant la difficulté à répartir certaines charges dans les coûts, la solution qui peut être retenue est celle des coûts partiels qui éclate les charges en :

Charges variables : (ou opérationnelles) qui varient proportionnellement avec l'activité de l'entreprise (chiffre d'affaires si c'est une entreprise commerciale et niveau de production si c'est une entreprise industrielle). Leur coût unitaire est constant.

Charges fixes : (ou de structure) qui restent stables jusqu'à un certain niveau d'activité. Elles ne dépendent que de la structure de l'entreprise :

Base de calcul : La production de la vapeur dans la chaudière comprend les besoins en énergie et matières premières. Le prix de revient de la tonne de vapeur se compose des charges variables en fonction de la production de vapeur et des charges fixes.

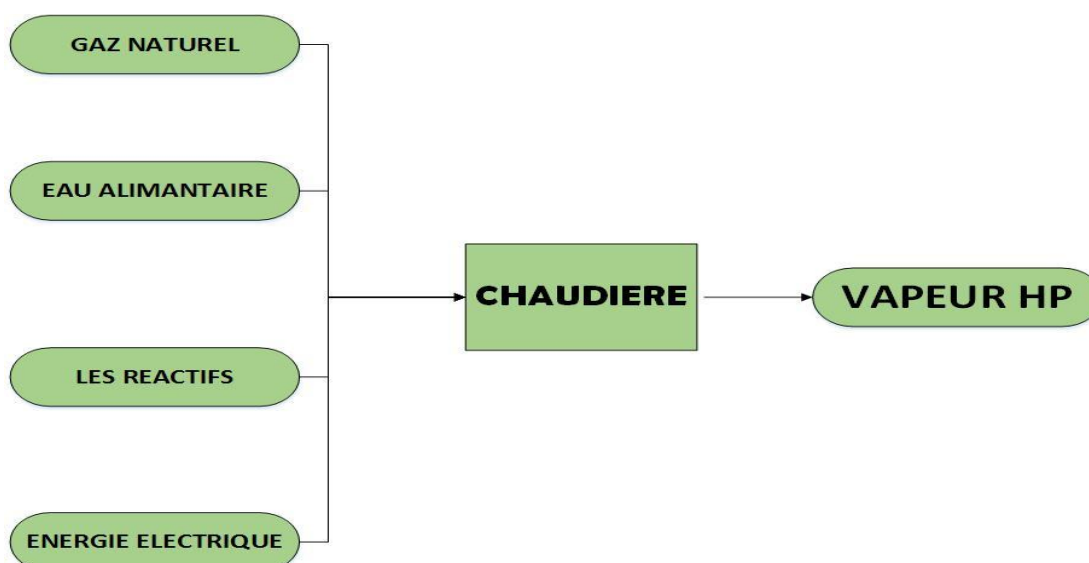


Figure IV. 1 Schéma de la chaudière

VI.2.1.1 Charges variables :

Gaz naturel : Apporte l'énergie nécessaire pour la transformation de l'eau en vapeur.

Energie Electrique : Energie nécessaire pour la force motrice : ventilateur de soufflage, et la pompe de combustible.

Eau Alimentaire : Matière première pour la production de la vapeur d'eau.

Phosphates Trisodique, marpholine et sulfite de soude : Pour le conditionnement des eaux de chaudière.

Entretiens et réparations.

VI.2.1.2 Estimation des charges variables :

Les prix des matières premières et énergie sont basés sur le prix de revient cumulé des mois d'avril 2017.

<i>Prix de matières premières et énergie</i>			<i>Consommation spécifique/Tonne de vapeur</i>	
<i>Matière</i>	<i>Unité</i>	<i>Unité Prix en DA</i>	<i>Consommation</i>	<i>Coût spécifique en DA</i>
<i>Les réactifs</i>	<i>kg</i>	75.73	<i>0,0336</i>	2.54
<i>Energie Electrique</i>	<i>MWh</i>	1500.6	<i>0,0033</i>	4.95
<i>Vapeur</i>	<i>Tonne</i>	225.55	<i>0,0343</i>	7.74
<i>Eau Alimentaire</i>	<i>m3</i>	105	<i>1,093</i>	114.76
<i>Entretiens et réparations</i>				<i>0,42</i>
<i>Total charge variable (Hors gaz)</i>				130.41

Tableau IV. 1 Coûts des charges variables.

VI.2.1.3 Charges fixes :

Conditionnement : Il consiste à un envoi de la vapeur non conforme à l'atmosphère jusqu'à atteinte de la température de 420°C.

Lessivage : Cette opération consiste à un nettoyage du circuit gaz naturel pour éviter l'encrassement du circuit.

Salaires et appointements hors Heures Supplémentaires (HS).

Dotations d'exploitation aux amortissements.

VI.2.1.4 Estimation des charges fixes :

Pour pouvoir calculer le coût d'une tonne de vapeur HP produite par la chaudière, nous devons estimer le prix des deux opérations essentielles qui s'effectuent au cours de chaque démarrage et arrêt de la chaudière auxiliaire en tenant compte du débit du combustible consommé ainsi que la durée de chaque opération.

VI.2.1.5 Estimation du prix du conditionnement :

La vapeur non conforme aux conditions existant au barillet HP s'échappe en consommant un débit du gaz naturel de l'ordre de 0,7 T/h pendant 15 min pour atteindre la température et la pression voulue.

$$Q = \frac{0.7}{60} = 0.0116 \text{ T/min}$$

$$Q = 0.0116 * 15 = 0.175$$

VI.2.1.6 Estimation du prix du lessivage :

Pour éviter l'encrassement du circuit du gaz naturel, on procède au passage d'un débit de 0,4 T/h du gasoil pendant 5 min avant l'arrêt de la chaudière. Sachant que le prix du gasoil est de 20.63 DA le litre et sa masse volumique vaut $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$, on obtient :

<i>Charge fixe</i>	<i>Coût (DA)</i>
<i>Allumage</i>	550
<i>Conditionnement</i>	6439,4
<i>Lessivage</i>	2587,97
<i>Salaires et appointements hors HS</i>	39,05
<i>Dotations d'exp aux amortissements</i>	13,53
<i>Total(DA)</i>	9629,95

Tableau IV. 2 Coût des charges fixes.

On a pu calculer le coût d'une tonne de vapeur HP produite par la chaudière auxiliaire en se basant sur la relation suivante :

$$C = (C_V * P) + C_F$$

$$C_V = C_{hg} + C_g$$

Avec :

C : Coût d'une tonne de vapeur HP produite par la chaudière auxiliaire en DA

C_v : Charges variables en DA

C_{hg} : Charges variables hors gaz en DA

C_g : Coût du gaz naturel nécessaire pour la production d'une tonne de vapeur HP en DA

P : Quantité de production de vapeur HP en T

C_f : Charges fixes en DA

On définit la productivité comme étant l'autonomie de production de la vapeur HP par la chaudière auxiliaire

$$: P_r = \frac{P}{H_m}$$

Avec :

P_r : Productivité de la chaudière auxiliaire en T/h

P : Quantité de production de vapeur HP en T

H_m : Nombre d'heure de marche de la chaudière auxiliaire en h

Le tableau suivant présente le calcul du coût d'une tonne de vapeur produite par la chaudière auxiliaire dans les mois d'Avril 2017 :

date	production de vapeur (T)	nombre d'heure de marche en (h)	gaz naturel consommé (T)	coût gaz naturel (DA)	coût total de la production de vapeur (DA)	consommation spécifique gaz (T)	Productivité (T/h)	Coût d'une tonne de vapeur (DA)
1 avril	77	24H00	144011	66245,06	85884,59	0,05346	3,20	1115,38
2 avril	75	24H00	143104	65827,84	85207,45	0,05240	3,125	1136,09
3 avril	76	24H00	143494	66007,24	85516,71	0,05294	3,16	1125,22
4 avril	79	24H00	144205	66334,3	87083,92	0,05374	3,29	1116,46
5 avril	78	24H00	144263	66360,98	86130,79	0,05127	3,25	1104,24
15 avril	77	24H00	144636	66532,56	85150	0,05974	3,20	1105,85
16 avril	77	24H00	144665	66545,9	86171,8	0,05451	3,20	1119,11
23 avril	79	24H00	144814	66614,44	88174,12	0,05981	3,29	1116,12
30 avril	78	24H00	144613	66521,98	85541,11	0,05651	3,25	1096,68
moyenne						0,05564	3,22	1115,01

Tableau IV. 3 cout d'une tonne de vapeur produit par la chaudière auxiliaire au mois avril 2017.

VI.3 Coût d'un MWh de l'énergie électrique produite par les Groupes Turbo Alternateurs GTA :

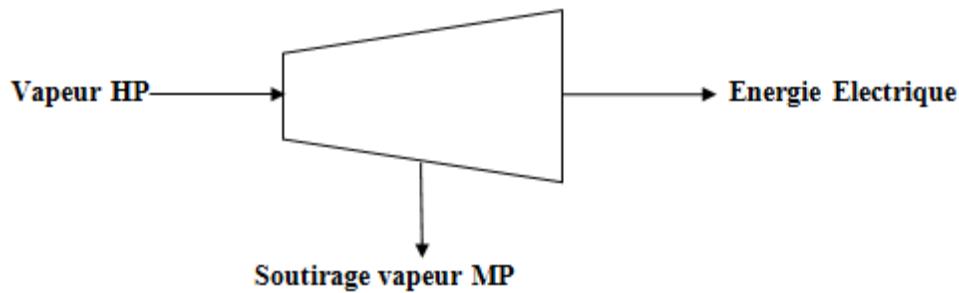


Figure IV. 2 Schéma d'un GTA

Pour produire **1MWh** dans GTA, il faut consommer **5 tonnes**de vapeur haute pression HP. L'étude de rentabilité consiste à comparer le prix du MWh produit au niveau des GTA à celui acheter de *SONELGAZ* suivant les heures pleines, de pointes et creuses selon le tableau ci-dessous :

	<i>Période</i>	<i>Durée</i>	<i>Prix du MW SONALGAZ en DA</i>
<i>Heures Pleines</i>	<i>04h00' à 17h00'</i>	<i>10 h</i>	9865,845
<i>Heures de Pointes</i>	<i>17h00' à 22h00'</i>	<i>05 h</i>	13983,508
<i>Heures Creuses</i>	<i>22h00' à 07h00'</i>	<i>09 h</i>	6071,714

Tableau IV. 4 Prix du MW.h acheter de SONELGAZ.

VI.3.1 Calcul du coût de l'énergie électrique :

	<i>Central utilité</i>	<i>Atelier ammoniac</i>	<i>Atelier NI-NA</i>	<i>Bac de stockage ammoniac</i>	<i>Sonalgaz pleine</i>	<i>Sonalgaz creuse</i>	<i>Sonalgaz pointe</i>
<i>Coût d'un MWh (DA)</i>	1387	1485	1301	501	896	551	1271

Tableau IV. 5 coût de l'énergie électrique .

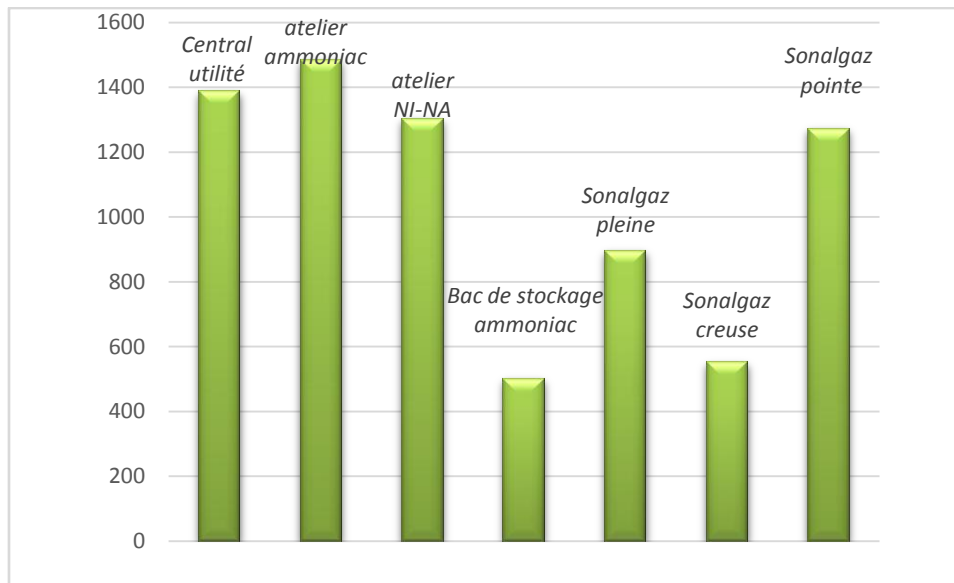


Figure IV. 3 Comparaison entre les coûts d'un MWh d'énergie électrique délivré par les différents fournisseurs

VI.3.2 Interprétation :

- Pour optimiser le coût de l'énergie électrique produite au niveau de la centrale, il vaut mieux utiliser la vapeur provenant de l'atelier ammoniac.
- Selon les tranches horaires : on remarque que le coût d'un MWh fourni par SONELGAZ est très coûteux dans les heures de pointes, donc il faut éviter de consommer dans cette tranche.
- En cas de manque de vapeur HP provenant de l'atelier ammoniac ou en cas d'une grande demande de la vapeur MP par les consommateurs, il sera bénéfique d'acheter de l'énergie électrique de la part de SONELGAZ aux heures creuses.
- Il faut éviter de transformer la vapeur produite par la chaudière en énergie électrique, car elle est très coûteuse.

Conclusion général et recommandation

Conclusion général et recommandation :

Ce stage nous a permis de compléter notre formation, d'être en contact direct avec l'industrie, ainsi d'enrichir nos connaissances liées à l'organisation et le déroulement du travail d'une société.

L'objectif de ce stage était de faire une étude énergétique de la centrale thermoélectrique de FERTIAL ANNABA, qui assure la production et la distribution de la vapeur et de l'énergie électrique .

Nous avons procédé à la recherche des échanges d'énergie majeurs du complexe, puis nous avons effectué un bilan énergétique de la centrale, avec lequel nous avons pu déterminer le rendement de ses composants, afin d'évaluer la situation énergétique actuelle, et pouvoir par la suite identifier les principaux postes de consommation, ainsi que les pertes d'énergie pouvant être récupérées. Enfin nous avons fait une étude sur les coûts d'exploitation de la vapeur et de l'énergie électrique de l'usine. Le problème d'énergie de FERTIAL ANNABA, nécessite la contribution de tous les occupants ainsi l'amélioration des moyens de mesures, il reste à mettre on place un pland'action :

- Le Contrôle et diagnostiquer les installations des différents ateliers, dans l'objectif d'éliminer toute source de surconsommation en utilités.
- La synchronisation entre les différents ateliers de la plate forme.

Conclusion général et recommandation

- La mise à niveau du système de comptage.
- L'optimisation de l'échange avec SONALGAZ suivant les tranches horaires.

Et finalement nous espérons que nous ayons pu, via ce modeste travail, mettre en valeur les connaissances théoriques inculquées durant nos années d'étude.

Table of Contents

INTRODUCTION GENERALE	1
I.1. Introduction :.....	2
I.2. Les différents sites de production :	2
I.2.1. Site de production d'Annaba :.....	2
I.2.2. Site de production d'Arzew :.....	3
I.3. Présentation de central Utilité II :	4
I.3.1. Section de dessalement d'eau de mer:	5
I.3.1.1 Distillation par détente successives (procède flash)	5
I.3.1.2 Distillation à effet multiple	7
I.3.2. Section de déminéralisation :.....	8
I.3.3. Section production de vapeur :.....	9
I.3.4. Section de production de l'énergie électrique :.....	10
II. Introduction :.....	12
II. 1 Pourquoi utiliser un moteur à vapeur ?	12
II.2 Critères d'évaluation des moteurs :	13
II.2.1 Rendement thermique et rendement global :.....	13
II.2.2 Puissance et consommation spécifiques :.....	14
II.2.3 Impact écologique :	14
II.3 Composants des installations à vapeur :.....	15
II.3.1 Calcul des puissances des composants :	15

II.3.2 Compresseurs et pompes :	16
II.3.3 Chaudière :	17
II.3.4 Turbine :	18
II.3.5 Condenseur :	19
II.4 Cycles moteurs à vapeur :	20
II.4.1 Le cycle de Carnot :	20
II.4.2 Le cycle de Rankine :	21
II.4.3 La surchauffe :	22
II.4.4 La resurchauffe :	24
II.5 Avantages et inconvénients des Cycles moteur à vapeur : [13]	25
II.5.1 Avantages :	25
II.5.2 Inconvénients :	25
III.1 Introduction :	26
III .2 Échanges d'énergie :	27
III.2.1 Les Producteurs de la vapeur :	27
III. 2.2 Les consommateurs de la vapeur :	27
III.2.3 Caractéristiques des échanges :	27
III.2.4 Les consommateurs de l'énergie électrique :	28
III.3 La problématique :	29
III.4 Etude de la centrale thermique:	30
III.4.1 La boucle eau-vapeur :	30
III.4.1.1 Réseau Vapeur haute pression (HP) :	30
III.4.1.2 Réseau Vapeur moyenne pression (MP) :	31
III.4.1.3 Vapeur basse pression (BP) :	31
III.4.2 Groupe turbo alternateur (GTA) :	31
III.4.2.1 Une turbine à vapeur :	31
III.4.2.2 Un alternateur :	32
III.4.2.3 Un poste d'huile de régulation :	32
III.4.2.4 Réseau condensat :	33
III.4.2.5 Système d'eau alimentaire :	33
III.4.2.6 Circuit NORIA :	33
III.5 Bilan énergétique globale de la centrale thermique :	34
III.5.1 Introduction :	34
III.5.2 Modélisation du cycle de Hirn a soutirage :	35
III.5.3 Transfert thermique dans le générateur de vapeur :	35

III.5.3.1 Puissance fournie au système :	35
III.5.3.2 Gaz rejeté par la cheminée :	36
III.5.3.3 Puissance récupérée par le système :	36
III.5.3.4 Rendement du générateur de vapeur :	36
III.5.4 La détente dans la turbine :	36
III.5.4.1 Indice de qualité de la vapeur :	37
III.5.4.2 Rendement de la turbine :	38
III.5.4.3 Rendement de l'alternateur :	38
III.5.4.4 Rendement de GTA :	38
III.5.4.5 Puissance utile de l'alternateur :	38
III.5.5 Transfert thermique au condenseur [3] :	39
III.6 Paramètres de fonctionnement des GTA :	39
III.6.1 Température d'admission :	39
III.6.2 Pression à l'admission :	40
III.6.3 Débit d'admission :	42
VI.1 Introduction :	43
VI.2 Calcul du coût d'une tonne de vapeur produite par la chaudière :	43
VI.2.1 Les différentes catégories de charges :	43
VI.2.1.1 Charges variables :	44
VI.2.1.2 Estimation des charges variables :	44
VI.2.1.3 Charges fixes :	45
VI.2.1.4 Estimation des charges fixes :	45
VI.2.1.5 Estimation du prix du conditionnement :	45
VI.2.1.6 Estimation du prix du lessivage :	45
VI.3 Coût d'un MWh de l'énergie électrique produite par les Groupes Turbo Alternateurs GTA :	47
VI.3.1 Calcul du coût de l'énergie électrique :	47
VI.3.2 Interprétation :	48
Conclusion général et recommandation :	49
Bibliography	56

Tableau III. 1 répartition de la consommation de vapeur.....	28
Tableau III. 2 Caractéristiques de la vapeur.	38
Tableau III. 3 La puissance en fonction de la température d'admission.	40
Tableau III. 4 La puissance en fonction de la température d'admission.	41
Tableau III. 5 La puissance en fonction du débit d'admission.	42
Tableau IV. 1 Coûts des charges variables.....	44
Tableau IV. 2 Coût des charges fixes.	45
Tableau IV. 3 cout d'une tonne de vapeur produit par la chaudière auxiliaire au mois avril 2017.	46
Tableau IV. 4 Prix du MW.h acheter de SONELGAZ.	47
Tableau IV. 5 coût de l'énergie électrique	47

Figure I . 1 Les différents sites de production	3
Figure I . 2 Schéma technologique de la centrale utilité II.	5
Figure I . 3 Distillation à détente successives (Flash).....	7
Figure I . 4 Distillation multiple effets [3].....	8
Figure I . 5 Schéma technologique de la section déminéralisation. [4].....	9
Figure I . 6 Schéma technologique de la section production de vapeur. [4].....	9
Figure I . 7 Schéma technologique du groupe turbo-alternateur 10 MVA. [4]	10
Figure I . 8 Schéma technologique du groupe turbo-alternateur 18 MVA. [4]	10
Figure I . 9 Schéma technologique de la section de production d'air. [4].....	11
Figure II. 1 Schéma de principe d'une pompe à eau.	16
Figure II. 2 Vue écorchée d'une pompe multicellulaire.	17
Figure II. 3 Représentation schématique d'une chaudière.	18
Figure II. 4 chaudière à tubes d'eau.	18
Figure II. 5 Représentation schématique d'une turbine à vapeur.	19
Figure II. 6 Turbine d'une centrale à vapeur de taille moyenne.	19
Figure II. 7 Représentation schématique d'un condenseur.	20
Figure II. 8 Vue écorchée d'un échangeur à tubes en "U".	20
Figure II. 9 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Carnot.....	21
Figure II. 10 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Carnot.....	21
Figure II. 11 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine.	22
Figure II. 12 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine.....	22
Figure II. 13 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine surchauffé.	23
Figure II. 14 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine surchauffé.....	24
Figure II. 15 Circuit d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine resurchauffé.	24
Figure II. 16 Diagramme température-entropie d'une centrale à vapeur fonctionnant sur un cycle de Rankine resurchauffé.	25
Figure III. 1 Cartographie présentant les entrées et les sorties des différentes utilités.	26
Figure III. 2 répartition de la consommation de la vapeur.	28
Figure III. 3 Schéma synoptique présentant les consommateurs de l'énergie électrique	29
Figure III. 4 Répartition de la consommation d'énergie électrique.	29
Figure III. 5 Schéma bloc de l'atelier des utilités	34
Figure III. 6 cycle de Hirn a soutirage	35
Figure III. 7 variation de la puissance relative en fonction de la température d'admission.	40
Figure III. 8 Variation de la puissance relative en fonction de la pression d'admission.....	41
Figure III. 9 Variation de la puissance relative en fonction de débit d'admission.....	42
Figure IV. 1 Schéma de la chaudière	43
Figure IV. 2 Schéma d'un GTA	47

Figure IV. 3 Comparaison entre les coûts d'un MWh d'énergie électrique délivré par les différents fournisseurs 48

Bibliographique

Louis ROMERO. (Janvier/Février 2015). Mise en place de la norme ISO- 50001. *FERTIAL NEWS*, 12.

Cleynen, O. (AVRIL 2015). *Thermodynamique de l'ingenieur*. paris: framabook. Récupéré sur <http://framabook.org/thermodynamique>

DANIS, P. (2002). *TECHNIQUE DE L'INGENIEUR .Déssalement de l'eau de mer.J2700* (Vol. Génie des procédés). (T. d. l'Ingénieur, Éd.) PARIS: Patrick DANIS.

Iyad SENHADJI. (2013). Le PRECOA. *FERTIAL NEWS*, 14.

René Bidard, J. B. (1979). *Energétique et turbomachines*. PARIS: Eyrolles, EDF.

SCADA. (2014). *MANUAL D'UTILISATION FERTIAL ANNABA*. MADRID: ISASTUR.

Sihem TOUATI. (2006, AVRIL 13). *societe/qui-sommes-nous/Qui somme nous?* Récupéré sur www.fertial-dz.com: <http://www.fertial-dz.com/societe/qui-sommes-nous/>

SONATRACH. (1984). *MANUEL D'EXPLOITATION DE LA CENTRAL THERMO-ÉLECTRIQUE*. ANNABA.

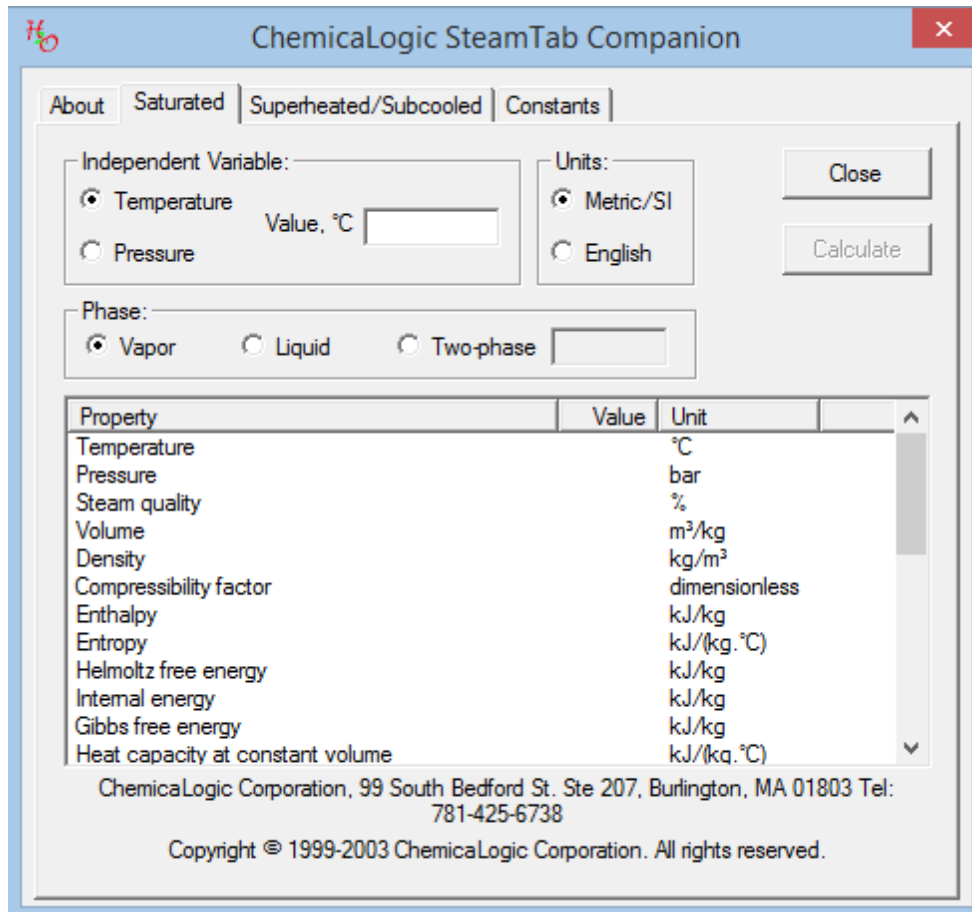
TOTAL. (2003). *eau douce*. PARIS.

TOTAL. (2003). *LES MOTEURS THERMIQUES* (éd. SUPPORT DE FORMATION.Révision 0.1, Vol. LES ÉQUIPEMENTS). PARIS: TOTAL.

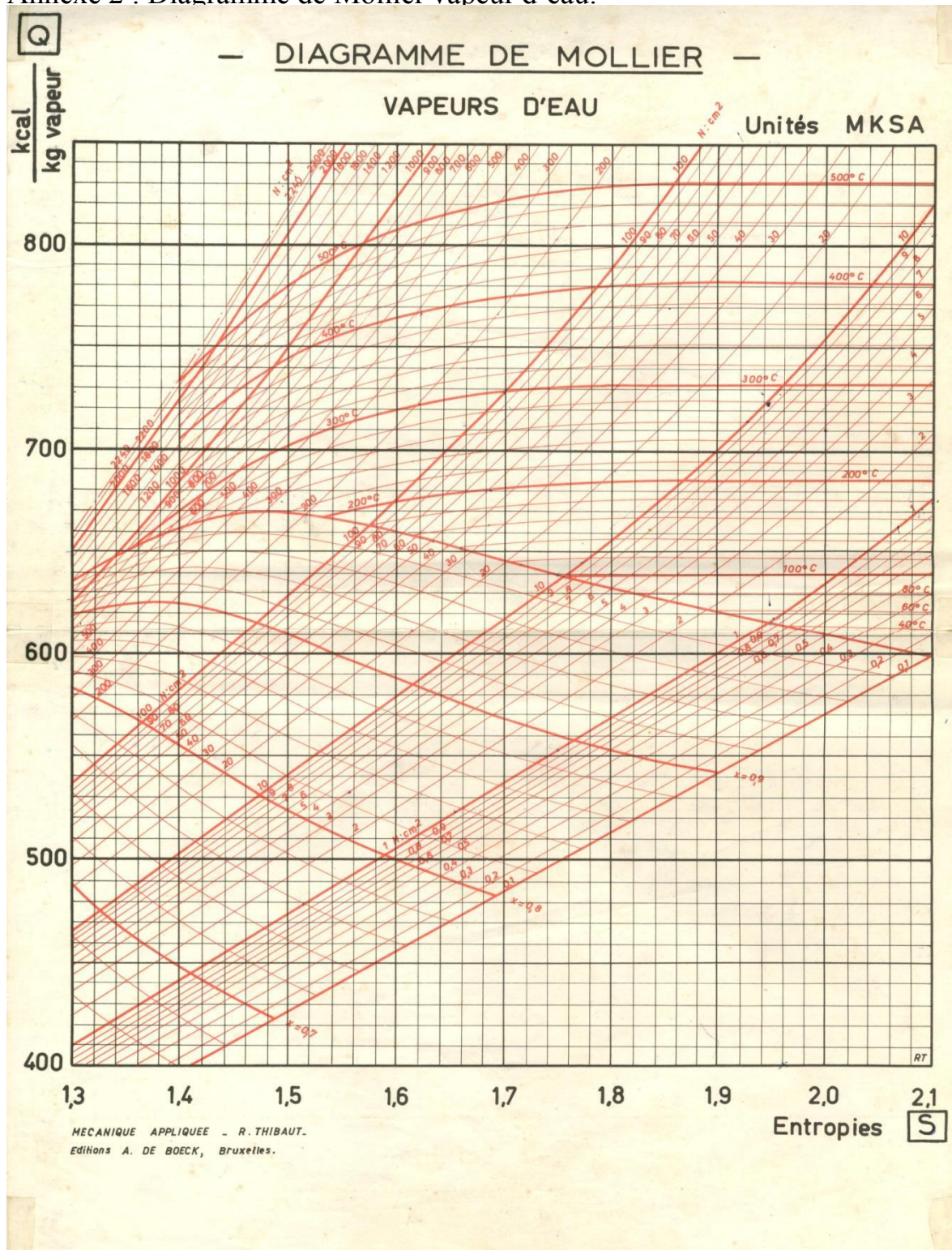
TOTAL. (2003). *VAPEUR* (Vol. LES UTILITES). PARIS: TOTAL.

Annexe :

Annexe 1 : Logiciel de calcul des caractéristiques thermiques de la vapeur



Annexe 2 : Diagramme de Mollier vapeur d'eau.



Annexe 3 : Caractéristiques de GTA

TURBINE :

Type : Multicellulaire à condensation et à soutirage réglé

Reference :EK 1100-2.

Fournisseur : SIEMENS.

Paramètre de marche	Garantie	Optimum
- Pression Vapeur admission	42 BAR	42 BAR
- Température vapeur admission	420 C°	420 C°
- Pression soutirage	05 BAR	05 BAR
- Température soutirage	156 C°	176 C°
- Pression vapeur échappement	0,068 bar	0,049 bar
- Température vapeur échappement	38°C	32°C
- Débit vapeur admission	42 t/h	38 t/h
- Débit vapeur soutirage	30 t/h	28 t/h
- Débit vapeur échappement	12 t/h	10 t/h
- Vitesse de rotation	9 000 trs/mn	9 000 trs/mn
- Vitesse de déclenchement (survitesse)	9 750 trs/mn	
- 1ière Vitesse critique	1 850 trs/mn	
- 2ième Vitesse critique		
- Puissance	37 000 Kw	25 400 Kw

Paramètre de marche	
- Puissance apparente	18 MVA
- Tension \pm 5%	5500 V
- Cos φ	0.8
- Fréquence	50 Hz
- Vitesse	1500 trs/mn
- Nombre de sortie haute tension	3 phases et 1 neutre
- Nombre de phases	03
- Somme des pertes de charge	280 mm
- Couple de court – circuit en charge à la tension nominale à Un+5%	237 000

Résumé

Le complexe de Fertial Annaba, impressionnant par sa taille, illustre les enjeux, techniques mais surtout économiques, de la cogénération d'une part, et de la gestion de la consommation énergétique d'autre part, dans le secteur industriel. Ce stage s'inscrit dans cette optique et se propose d'étudier la problématique de l'optimisation de la production et de la gestion de l'énergie dans un complexe industriel de grande envergure, en l'occurrence l'usine Fertial Annaba.

Pour cela, on étudiera dans un premier temps les flux entrant et sortant mis en jeu dans la production d'énergie au niveau de la centrale de l'usine Fertial Annaba.

Nous établirons ensuite le bilan énergétique de la centrale, afin d'identifier les principaux postes de consommation ainsi que les pertes énergétiques pouvant être récupérées.

Enfin, nous ferons une étude sur le coût d'exploitation de la vapeur et de l'énergie électrique de l'usine Fertial Annaba.

Mots clés: Bilan énergétique, cycle de Hirn à soutirage, vapeur, énergie électrique, groupe turbo-alternateur, centrale thermique, turbine à vapeur.

Remerciements

Je remercie dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il me accordé durant tous ces longues années d'études et qui me a permis d'arriver là où je suis.

Je remercie très vivement mon encadreur M. ISMAIL Fadel. je vous exprime mes vives reconnaissances et immense gratitude pour votre aide précieuse et claire lors de l'élaboration de ce travail. J'admire sincèrement votre dévouement et votre sens de la recherche.

Je voudrai aussi exprimer mes remerciements à mes professeurs du département de génie des procédés qui ont contribués à ma formation.

Je tiens à remercier M. LACHGAR Med. Sadekde ces conseils.

Mes profonds remerciements et ma gratitude vont aussi aux membres du jury, pour leur accord de juger mon travail.

Je remercie aussi tout le personnel de FERTIAL, et spécialement, Mr LAOUR .le chef de structure de l'unité de central utilité : Mr BENMHIDI, et tous les ingénieurs.

Mes derniers remerciements, vont à tous qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

DEDICACE

A ma Chère Mère

A mon Père

Dont le mérite, les sacrifices et les qualités

Humaines

M'ont permis de vivre ce jour.

A ma femme mon Frère et ma sœur

A tous les gens m'aiment