

Année Universitaire : 2013-2014



Master Sciences et Techniques en Génie Industriel

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude énergétique de la centrale thermique du MAROC PHOSPHOR Jorf Lasfar

Lieu :

Référence : /13-MGI

Présenté par:

**MARMOUCH El Moukhtar
YAHYAOUI Radouane**

Soutenu Le 20 Juin 2014 devant le jury composé de:

- **Mr. S. HAOUACHE (encadrant)**
- **Mr. H. BINE EL OUIDANE (examineur)**
- **Mme. I. TAJRI(examineur)**

Stage effectué à : OCP JORF LASFAR



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: MARMOUCH El Moukhtar
YAHYAOUI Radouane**

Année Universitaire : 2013/2014

Titre: Etude énergétique de la centrale thermique du MAROC PHOSOHOR Jorf Lasfar

Résumé

Le complexe de Jorf Lasfar, 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 Maroc Phosphore Jorf Lasfar.

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 Maroc Phosphore.

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 Maroc Phosphore de Jorf Lasfar.

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

Remerciement

Au terme de notre stage, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur le directeur du groupe OCP qui a accepté de nous recevoir au sein de son institution. Aussi, nos remerciements s'adressent à Mr I.GOUATI, chef responsable de la centrale thermique,

qui a bien voulu nous encadrer durant toute la période du stage, ainsi que Mr H. MANSOUR, Mr S. LMZALI et Mr YGLI pour les conseils qu'ils nous ont prodigués et ainsi pour le temps précieux qu'ils nous ont consacré malgré leurs charges et occupations.

Nos vifs remerciements s'adressent à Mr NAOMI, ainsi que Mr Mostapha et aussi à l'ensemble du personnel de Groupe OCP, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, et qui n'ont pas cessé de nous assister, par leur aide et leurs conseils précieux, afin de nous faciliter la tâche pour élaborer ce travail dans les conditions les plus favorables.

Enfin nous adressons notre profonde gratitude et notre estime à tout le corps d'enseignement au sein de l'a FST et spécialement à Mr S.HAOUACHE, qui n'a ménagé aucun effort pour nous guider et qui nous a procuré toutes les connaissances nécessaires pour la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicace

A nos très chers parents :

Aucun mot, aussi signifiant soit-il, ne saurait exprimer le degré d'amour, d'affection, de respect et de reconnaissance que nous éprouvons pour vous.

Votre présence à nos côtés nous a toujours apporté confiance et réconfort.

Puisse ce travail être le fruit de votre dévouement et vos sacrifices et un témoignage de nos gratitude et patience.

Que Dieu vous procure longue vie, avec bonheur et santé, vous protège, afin que vous demeuriez le soleil qui illumine notre vie.

A nos très chers frères et sœurs :

Nous vous souhaitons des rêves à n' en plus finir et l'envie furieuse d'en réaliser, vous avez toujours été pour nous d'une aide très précieuse, nous vous dédions ce travail en témoignages de notre grande affection.

A toute nos familles.

A tous nos amis.

A tous ceux qui ont confiance en nous.

Que tout le monde retrouve à travers ces quelques lignes, nos sincères sentiments et notre profonde reconnaissance.

Glossaire :

ACP	: Acide Phosphorique marchand
AL	: Ancienne Ligne
ASP	: Ammonium phosphate
BMP	: Brésil Maroc Phosphore
BP	: Basse Pression
CIJ	: Direction Maroc Phosphore Jorf Lasfar (<i>Chemical Industry Jorf</i>)
DAC	: Direction Audit et Contrôle
DAP	: Di-Ammoniac de Phosphate
DB	: Durbin-Watson
DC	: Direction Commerciale
DRH	: Direction des Ressources Humaines
EE	: Energie Electrique
EMAPHOS	: Euro-Maroc Phosphore
GTA	: Groupe Turbo-Alternateur
HP	: Haute pression
MAP	: Mono-ammonium Phosphate
MP	: Maroc Phosphore
MP	: Moyenne Pression
NL	: Nouvelle Ligne
NPK	: Azote-Phosphate-Potassium
OCP	: Office Chérifien des Phosphates
ONE	: Office Nationale de l'Electricité
P₂O₅	: Acide phosphorique
PC	: Pôle chimie
PCJ/PA/PP	: Atelier Phosphorique
PEM	: Pompage Eau de Mer
PF	: Pole Finance
PM	: Pôles Mines
PMP(PAKPHOS)	: Pakistan Maroc Phosphore
RC	: <i>Rhône Poulenc</i>
REM	: Reprise d'eau de mer
RV	: <i>Revamping</i>
SG	: Secrétariat Général
TED	: Traitement Des eaux Douces
TSP	: Triple super phosphate

Liste des figures :

Figure 1: Carte géographique des sites miniers à travers le royaume	14
Figure 2: Plan du complexe de Jorf Lasfar.....	16
Figure 3: Cartographie présentant les entrées et les sorties des différentes utilités	24
Figure 4: répartition de la consommation de la vapeur	25
Figure 5: Boucle actuelle de l'E.E de Jorf Lasfar	26
Figure 6: répartition de la consommation d'énergie électrique.....	27
Figure 7: la production et la consommation d'énergie électrique.....	27
Figure 8: Evolution du prix de vente et de l'achat de l'énergie électrique.....	28
Figure 9: Schéma centrale électrique	29
Figure 10: Schéma bloc de l'atelier des utilités.....	34
Figure 11: diagramme T-S.....	36
Figure 12: schéma simplifié du four de combustion	36
Figure 13: schéma simplifié du réacteur catalytique à quatre masses.....	37
Figure 14: schéma simplifié de l'absorption de SO ₃	38
Figure 15: variation de la puissance relative en fonction de la température d'admission	43
Figure 16: variation de la puissance relative en fonction de la pression a l'admission	44
Figure 17: Schéma de la chaudière.....	46
Figure 18: Variation du coût d'une tonne de vapeur	51
Figure 19: Comparaison entre le coût d'une tonne de vapeur HP produite par les différents fournisseurs	52
Figure 20: Schéma d'un GTA	52
Figure 21: Comparaison entre les coûts d'un MWh d'énergie électrique délivré par les différents fournisseurs	53

Liste des tableaux :

Tableau 1: répartition de la consommation de vapeur.....	25
Tableau 2: caractéristique de la vapeur.....	41
Tableau 3: La puissance en fonction de la température d'admission.....	43
Tableau 4: La puissance en fonction du débit d'admission	44
Tableau 5: Coûts des charges variables.....	47
Tableau 6: Coût des charges fixes.....	48
Tableau 7: cout d'une tonne de vapeur produit par la chaudière auxiliaire au mois de novembre 2013.....	49

Table des matières :

Introduction générale :	7
Chapitre 1: Présentation de l'organisme d'accueil :	8
I. Présentation :	11
1. Historique :	11
2. Secteur d'activité :	11
3. Statut juridique :	12
4. Filiales :	12
5. Sites de production :	14
6. Fiche synthétique :	14
II. Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar:	16
III. Description des ateliers de Maroc Phosphore (MP) III et IV :	18
1. Flowsheet général :	18
2. Atelier sulfurique :	19
1. Capacité de production :	19
2. Description du procédé :	19
3. Atelier phosphorique :	19
1. Capacités de production :	19
2. Description procédé :	20
4. Atelier engrais :	20
5. Atelier utilités :	21
1. Caractéristiques des utilités :	21
2. Centrale thermoélectrique :	21
3. Atelier pompage eau de mer :	21
4. Station de reprise d'eau de mer :	22
5. Atelier de traitement des eaux douces :	22
6. Description de la station de compression d'air :	22
7. Description de l'installation de stockage et de distribution de carburant :	22
Chapitre 2: Analyse de la situation énergétique de la plateforme de jorf lasfar:	24
I. Introduction :	24
II. Échanges d'énergie:	24
1. Les Producteurs de la vapeur :	24
2. Les consommateurs de la vapeur :	25
3. Caractéristiques des échanges :	25
4. Les producteurs de l'énergie électrique	26
5. Les consommateurs de l'énergie électrique :	26
6. Échanges d'énergie électrique :	27
III. La problématique :	28
IV. Etude de la centrale thermique (vapeur - énergie électrique)	28
1. La boucle eau-vapeur	29
1. Réseau Vapeur haute pression (HP) :	29
2. Réseau Vapeur moyenne pression (MP) :	30
3. Vapeur basse pression (BP) :	30

2.	Groupe turbo alternateur (GTA) :	31
1.	Une turbine à vapeur :	31
2.	Un alternateur :	32
3.	Un poste d'huile de graissage :	32
4.	Un poste d'huile de régulation :	32
5.	Réseau condensat :	33
6.	Système d'eau alimentaire :	33
7.	Circuit NORIA :	33
V.	Bilan énergétique globale de la centrale thermique:	34
1.	Introduction :	34
2.	Modélisation du cycle de Hirn a soutirage :	35
3.	Transfert thermique dans le générateur de vapeur :	36
1.	Puissance fournie au système :	36
2.	Puissance perdue par le système :	40
3.	Puissance récupérée par le système :	40
4.	Rendement du générateur de vapeur:	40
4.	La détente dans la turbine :	40
5.	Transfert thermique au condenseur :	42
VI.	Paramètres de fonctionnement des GTA ;	42
1.	Introduction ;	42
2.	Température d'admission :	43
3.	Pression à l'admission :	44
4.	Débit d'admission :	44
Chapitre 3: Calcul du coût d'exploitation de la vapeur et de l'énergie électrique:		49
I.	Introduction :	46
1.	Calcul du coût d'une tonne de vapeur produite par la chaudière :	46
1.	Les différentes catégories de charges :	46
2.	Charges variables :	46
3.	Charges fixes :	47
4.	Exploitation des résultats :	48
5.	Etude de la rentabilité de la chaudière :	50
6.	Comparaison du coût d'une tonne de vapeur HP produite par les différents fournisseurs :	51
2.	Coût d'un MWh de l'énergie électrique produite par les Groupes Turbo Alternateurs GTA :	52
Conclusion:		59

Introduction générale:

Dans le but de réduire sa facture énergétique ainsi que son impact sur l'environnement, le groupe OCP SA mène une politique active d'efficacité énergétique. Le lancement de projets phares tels que l'usine de dessalement d'eau de mer à JorfLasfar témoignent de l'implication du groupe dans la voie du développement durable, sans toutefois perdre de vue ses objectifs de production.

Le complexe de JorfLasfar, 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 Maroc Phosphore JorfLasfar.

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 Maroc Phosphore.

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 Maroc Phosphore de JorfLasfar.

Chapitre 1 :

Présentation de l'organisme d'accueil



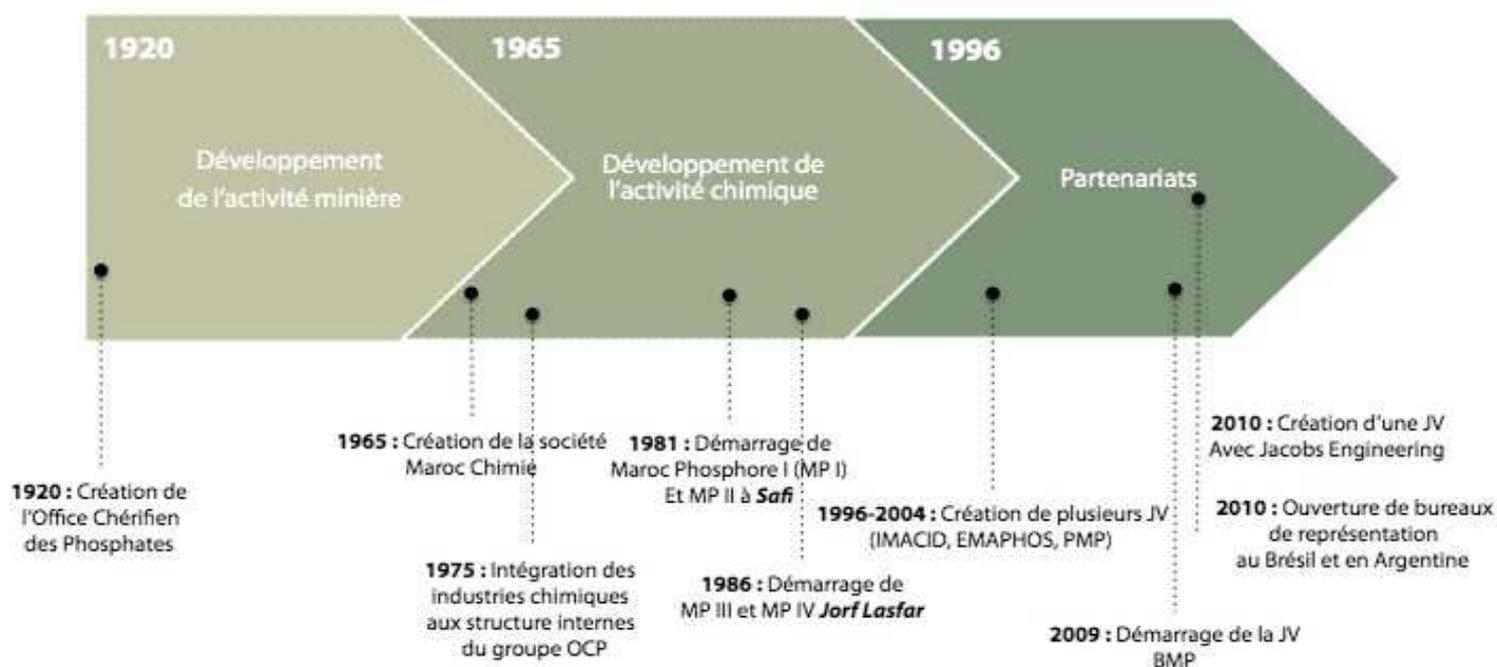
Présentation :

Fondé en 1920, l'Office Chérifien des Phosphate, devenu Groupe OCP puis OCP SA, est le premier groupe minier marocain. C'est un acteur incontournable sur le marché mondial des phosphates et de ses produits dérivés. Présent sur toute la chaîne de valeur, il est le premier exportateur mondial de roches et d'acide phosphorique.

OCP SA compte actuellement plus de 23000 collaborateurs implantés au Maroc sur plusieurs sites miniers et complexes chimiques ainsi que sur d'autres sites internationaux.

Enfin, le groupe OCP SA joue un rôle primordial dans l'économie marocaine et contribue à près de 20% des exportations du pays.

Historique :



Secteur d'activité :

L'activité du groupe OCP SA comprend deux volets :

- Minier : exploitation, traitement et expédition du phosphate
- Chimique : production d'acide phosphorique et d'engrais dérivés du phosphate

L'activité minière du groupe ne représente plus que les 25% du chiffre d'affaire, suite au développement de l'activité chimique à partir des années 1960. Les produits, qu'il s'agisse de phosphate ou ses dérivés, sont commercialisés à l'international, plus de 90% de la production étant destinée à l'export.



Le groupe OCP est un acteur majeur du marché du phosphate. Il détient plus de la moitié des parts de marchés pour ce qui est de l'acide phosphorique et plus du tiers du marché du phosphate brut.

Statut juridique :

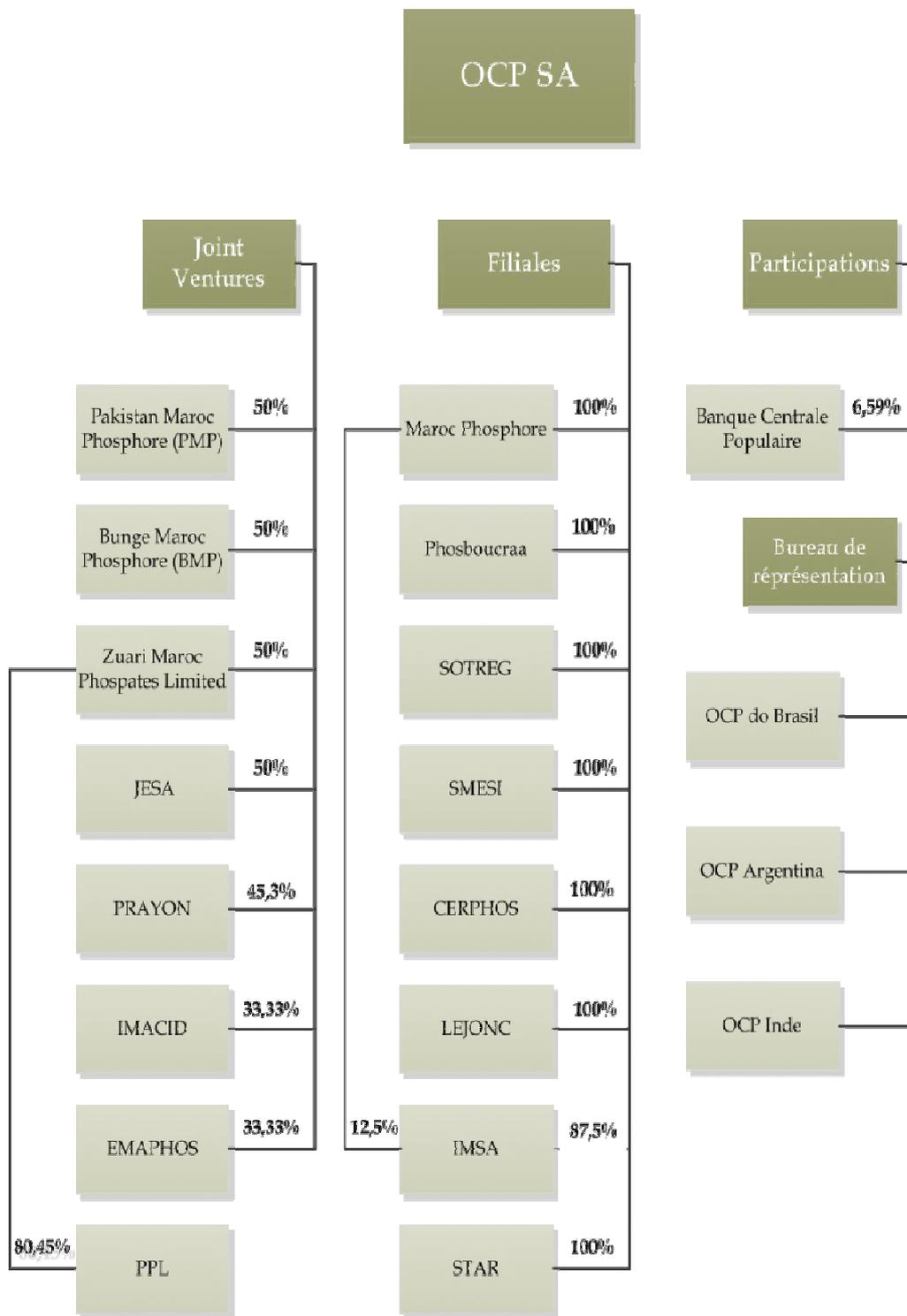
L'Office Chérifien des Phosphate a été créé par la Dahir du 7 août 1920. Il disposa, dans un premier temps, d'un statut d'établissement public avant d'acquiescer celui de société anonyme en 2008. L'État marocain reste toutefois l'actionnaire majoritaire du groupe OCP SA avec 96,12% du capital, contre les 5,88% détenus par le groupe Banque Populaire. Le conseil d'administration du groupe est présidé par le premier ministre et son PDG nommé par un Dahir royal.

Filiales :

Dans le cadre de sa stratégie de développement international, le groupe OCP a noué des partenariats industriels stratégiques avec de nombreux opérateurs internationaux. Ces accords ont donné lieu à la création de nouvelles unités d'exploitation du phosphate pour la production d'acide phosphorique et d'engrais dont IMACID (Inde), EMAPHOS (Europe), BMP (Brésil) et PMP (Pakistan) sont des exemples.

Outre les filiales chargées des activités minières (Phosboucraa) et chimique (Maroc Phosphore) du groupe OCP, le groupe dispose de diverses entités chargées d'activités annexes, dont voici quelques exemples :

- CERPHOS (Centre d'étude et de recherche des phosphates minéraux)
- SMESI (Société Marocaine d'études spéciales industrielles)
- SOTREG (Société de Transport Régionale)
- STAR (Société de Transport et d'Affrètement Réunis des navires et services annexes)



Sites de production :

Le groupe OCP SA dispose de 3 sites miniers et de 2 complexes industriels de valorisation du phosphate. Les principales mines d'extraction du phosphates sont situées à Khouribga (OuladAbdoun), à Youssoufia (Gantour) ainsi qu'à Boucraa-Layoune.

En outre, le groupe OCP dispose de quatre ports d'embarquement pour l'expédition de ses produits :

- Casablanca : pour les produits de OuladAbdoun (Kouribga)
- JorfLasfar : pour les produits locaux
- Laayoune : pour les produits de Boucraa
- Safi : pour les produits de Gantour

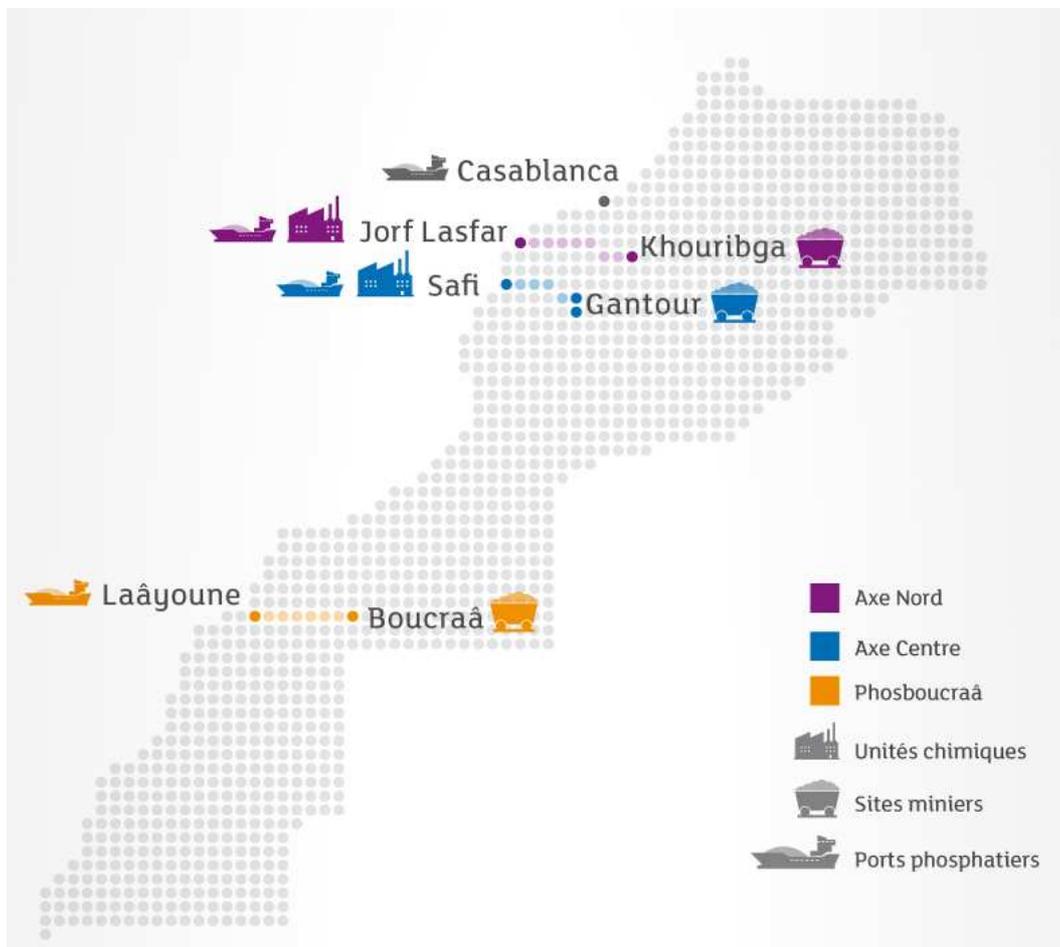


Figure 1: Carte géographique des sites miniers à travers le royaume

Fiche synthétique :

Nom de l'entreprise	OCP S.A.
N° de registre de commerce	Casablanca 40.237
Date de création	07/08/1920
Siège social	Angle Route d'El Jadida et Bvd de la Grande ceinture BP 5196, Casa Maarif, Casablanca
PDG	M. Mustapha Terrab
Effectif	22 677, dont 725 ingénieurs
Chiffre d'affaire 2013	46,0 milliards MAD
Production 2013	<ul style="list-style-type: none">• Roche : 26,4 MT• Acide phosphorique : 4,4 MT P₂O₅• Engrais : 4,8 MT
Part de marché d'exploitation de phosphate sous toute forme 2012	28%

Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar:

Situé sur le littoral atlantique, à 20km au Sud-Ouest d'El Jadida, le complexe industriel de JorfLasfar a vu le jour en 1986 et a permis au groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates.

Le site, qui s'étend sur plus de 1700 hectares, a été choisi pour diverses raisons : proximité du site minier de Khouribga, existence d'un port profond, disponibilité d'eau de mer et de réserves d'eau douce, possibilité d'extensions futures.

Actuellement, la production annuelle du complexe de JorfLasfar s'élève à plus de :

- 1,7 millions de tonnes d'acide phosphorique
- 1,8 millions de tonne équivalent DAP

Et nécessite la transformation de :

- 1,7 millions de tonnes de soufre
- 0,5 millions de tonnes d'ammoniac
- 6,5 millions de tonnes de phosphate

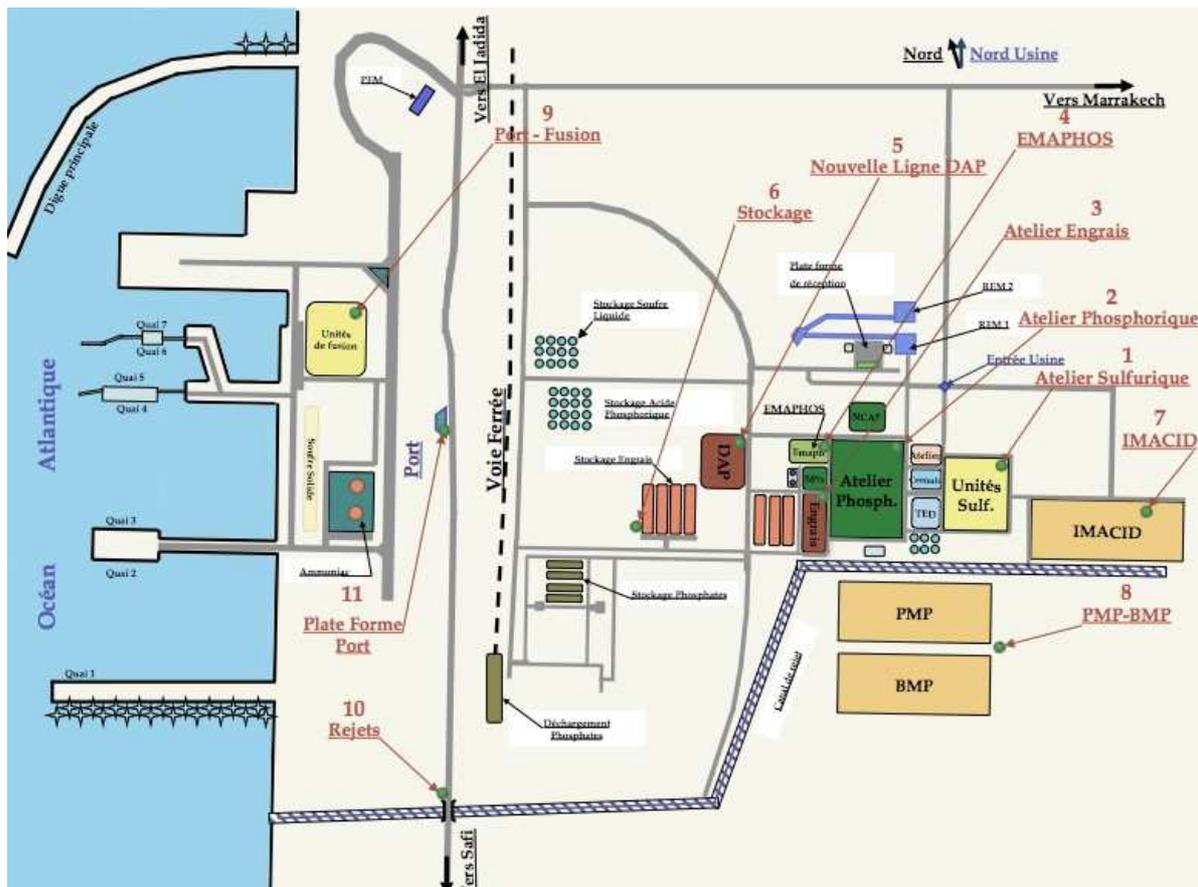


Figure 2: Plan du complexe de JorfLasfar

En vue d'augmenter sa capacité de production, le groupe OCP SA s'est associé avec le groupe indien BIRLA, donnant lieu à la création d'une nouvelle usine nommée IMACID. Avec l'arrivée de nouveaux partenaires brésiliens et pakistanais, le site dispose actuellement de 5 usines :

- EMAPHOS : EMAPHOS S.A, créé en 1996 à JorfLasfar est doté d'un capital de 180 millions de dirhams détenu à égalité par trois actionnaires : OCP SA, Société chimique Prayon Rupel et ChemischeFabrikBudenheim
- Indo Maroc Phosphore S.A (IMACID) est une société indo-marocaine créée en 1997 sur le site de JorfLasfar.Son capital social de 619,998 millions de dirhams est détenu à raison d'un tiers chacun par OCP SA, Chambal Fertilizers and Chemicals Ltd et Tata Chemical Ltd.
- PAKISTAN MAROC PHOSPHORE (PMP) :Installé à JorfLasfar, Pakistan Maroc Phosphore a été créé en 2004 avec un capital de 800 millions de DH partagé à égalité entre OCP SA et le groupe pakistanais Fauji.
- BUNGE MAROC PHOSPHORE (BMP) : Société anonyme au capital de 900 millions de DH, Bunge Maroc Phosphore a été créé le 15 avril 2008 à JorfLasfar et a débuté ses activités en mars 2009. Le capital est détenu à parts égales par OCP et le brésilien BungeKoninklijke B.V.
- Maroc Phosphore (MP) III et IV : L'usine MPIII-IV est composé de :
 - Atelier sulfurique : production d'acide sulfurique, de vapeur HP et MP
 - Atelier phosphorique : production d'acide phosphorique 29% et 54%
 - Atelier engrais : production d'engrais (MAP, DAP, TSP, ASP, NPK)
 - Atelier utilités, comprenant :
 - Centrale thermoélectrique : production d'électricité et production ainsi que gestion de vapeur MP
 - Station de traitement des eaux
 - Station de compression d'air
 - Station de pompage d'eau de mer : pompage d'eau de mer utilisée pour le refroidissement
 - Une station de reprise d'eau de mer : distribution de l'eau de mer aux unités du complexe

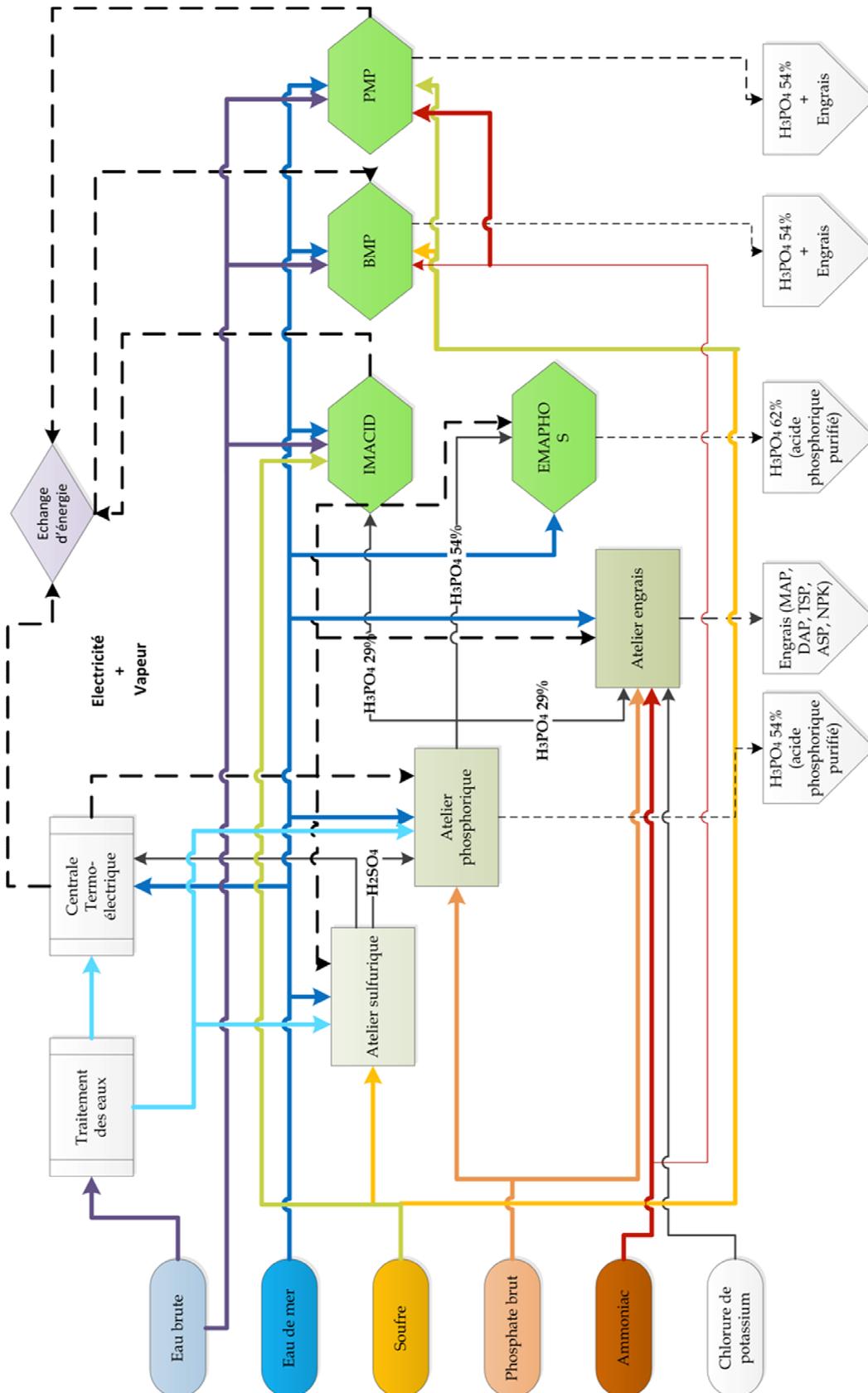
L'approvisionnement en matières premières, en eau de mer de l'ensemble des usines du complexe est assuré exclusivement par MPIII-IV.

Pour ce qui est de l'acheminement du phosphate, il s'effectue par voie ferroviaire depuis le site de Khouribga. Il devrait bientôt être supplanté par un transport via pipeline, lequel est en cours de construction.

Les produits finis sont quant à eux, acheminés par voie maritime, via le port du site de JorfLasfar.

Description des ateliers de Maroc Phosphore (MP3&4) [1]:

Flowsheet général :



Atelier sulfurique :

L'atelier sulfurique est constitué de six lignes de production, leur but est la fabrication d'acide sulfurique à partir du soufre, et la production de l'énergie calorifique sous forme de vapeur d'eau haute et moyenne pression qui sera utilisé par la centrale thermoélectrique pour la production d'électricité.

Capacité de production :

Nombre des lignes de production	6
Capacité unitaire (après revamping)	2650 TMH/j
Procédé	Double absorption (Monsanto EnviroChem)
Capacité de production de vapeur HP	135 T/h/unité
Capacité de production de vapeur MP	40 T/h/unité

Description du procédé :

Combustion	$S + O_2 \rightarrow SO_2$ ($\Delta H = -70,96 \text{ Kcal/mole} = -297 \text{ Kj/mole}$)
Conversion	$SO_2 + 1/2 O_2 \rightarrow SO_3$ ($\Delta H = -23,52 \text{ Kcal/mole} = -92 \text{ Kj/mole}$)
Absorption	$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ ($\Delta H = -32,82 \text{ Kcal/mole} = -130 \text{ Kj/mole}$)

Le soufre, provenant de l'unité de fusion, arrive à l'état fondu et est introduit dans un four à briques réfractaires dont la température atteint 1200°C dans lequel a lieu la combustion. L'air de combustion est aspiré par une turbosoufflante et injectée dans la chambre de combustion.

Les réactions mises en jeu sont très exothermiques et constitue une source d'énergie pour le complexe. En effet, lors de la réaction de combustion, la chaleur des fumées est récupérée par une chaudière et sert à produire de la vapeur HP avec un débit de 135T/h. Une partie de cette vapeur est détendue dans une turbosoufflante à raison de 40T/h, afin d'aspirer l'air nécessaire à la combustion du soufre.

Atelier phosphorique :

L'atelier phosphorique est constitué de huit lignes de production d'acide phosphorique 29%, et quatre lignes de concentration. Cinq lignes de production sont des procédés Rhône Poulenc d'une cadence journalière de 500tonne, les trois autres sont revampées avec une cadence journalière de 750 tonnes/ligne.

Capacités de production :

Nombre de ligne de production	8
-------------------------------	---

Capacité unitaire (après revamping)	5400 T /j de P205 54%
Procédé	3xRhône Poullenc et 5xJorf OCP
Nombre d'échelons (concentration)	20
Capacité unitaire nominale	14 T P205/échelon

Description procédé :

Broyage du phosphate naturel	phosphate naturel : $Ca_3(PO_4)_2$
Attaque-filtration	$Ca_3(PO_4)_2 + 3 H_2SO_4 + 6 H_2O \longrightarrow 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 2 H_3PO_4$ Obtention de deux phases : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Liquide (solution de H_3PO_4 29%) ▪ Solide (sulfate de calcium $CaSO_4$)
Concentration	H_3PO_4 29% \rightarrow H_3PO_4 53% par évaporation

Atelier engrais :

Le principe de fabrication des engrais est basé sur la réaction entre l'acide phosphorique et l'ammoniac (pour les DAP, ASP, MAP et NPK) et sur l'attaque du phosphate par de l'acide phosphorique (pour le TSP). Pour les engrais DAP, MAP et ASP, la méthode consiste d'abord à neutraliser l'acide phosphorique par l'ammoniac en présence de l'acide sulfurique. Il se forme alors une bouillie qui sera expédiée vers un granulateur. Le produit granulé ainsi récupéré est introduit dans un sécheur chauffé par les gaz provenant d'une chambre à combustion. A la sortie du sécheur, le produit subit alors une sélection par tamisage à travers un crible. Le produit marchand ainsi obtenu est refroidi, puis enrobé par le fuel afin d'éviter les prises en masse au moment du stockage. Dans le cas du NPK, le procédé est comparable mis à part que l'ammonisation est complétée par l'ajout de potasse dans le granulateur.

La fabrication du TSP est basée sur la réaction du phosphate broyé avec l'acide phosphorique à 42% P2O5. L'attaque est ensuite complétée par un séchage progressif de la bouillie. Après granulation, le produit subit une sélection dans des tamis vibrants, des broyeurs et des concasseurs.

Capacité unitaire MAP	8
Capacité unitaire DAP	5400 T P205/j 54%
Capacité unitaire TSP	3xRhône Poullenc et 5xJorf OCP

Atelier utilités :

L'atelier des Utilités a pour objectif la production et la gestion des différentes utilités nécessaires à la production des produits intermédiaires et finis. Ces utilités sont : l'énergie électrique, différentes qualités de vapeur, différentes qualités d'eau, eau de mer haute pression, eau de mer basse pression, air comprimé, fioul et gasoil.

Caractéristiques des utilités :

Vapeur HP	[58 bars ; 480°C]
Vapeur MP	[9,5 bars ; 250°C]
Vapeur BP	[5,5 bars ; 155°C]
Eau de mer	[16 – 20°C ; HP et BP]
Eau (exemple : eau désilicée)	<ul style="list-style-type: none">• Salinité totale : 1mg/l maximum ;• Conductivité à 25 °C : 5µs/cm moyenne sur le cycle ;• Silice : 0,020 mg/maxi

Centrale thermoélectrique :

La centrale thermoélectrique est conçue pour assurer les fonctions suivantes :

- La production et la distribution de l'énergie électrique
- La production et la gestion de la vapeur
- La production et la distribution de l'eau alimentaire et condensats
- La réfrigération des auxiliaires du complexe

Atelier pompage eau de mer :

Située au port JorfLasfar, la station de pompage d'eau de mer sert à alimenter le pôle JorfLasfar en eau de mer traitée et filtrée.

Cette station contient essentiellement les équipements suivants :

- Les ouvrages d'amenée d'eau de mer :
 - Une digue de protection qui réduit l'agitation de l'eau du à la houle de l'océan.
 - Un canal creusé dans les roches.
 - Un bassin de tranquillisation.
- Une installation de filtration d'eau de mer.

- Une salle des pompes qui abrite.
 - Trois groupes motopompes de 7500 m³/h.
 - Cinq groupes motopompes de 15000 m³/h.
 - Un groupe motopompes de 18000 m³/h.
- Un système de protection anti-bélier.
- Une installation de production d'hypochlorite de sodium.
- Un réseau constitué de trois conduites, relie la station de pompage au déversoir qui alimente les différentes stations de reprise.

Station de reprise d'eau de mer :

Les trois groupes des pompes de la station de pompage refoulent dans trois conduites de diamètres DN=2500, afin d'alimenter un déversoir situé à 2 Km de la station de pompage. Ce dernier fournit l'eau de mer aux quatre stations de reprise à savoir :

- Station de reprise d'eau de mer vers EMAPHOS
- Station de reprise d'eau de mer vers la nouvelle CAP
- Station de reprise vers l'usine (REM1)
- Station de reprise vers IMACID (REM2)

Atelier de traitement des eaux douces :

L'installation de traitement des eaux a pour rôle le traitement, le stockage et la distribution des différentes qualités d'eaux aux consommateurs.

Elle comporte essentiellement:

- Station de filtration
- Station d'eau déminéralisée
- Station d'eau traitée
- Station de compression d'air

Description de la station de compression d'air :

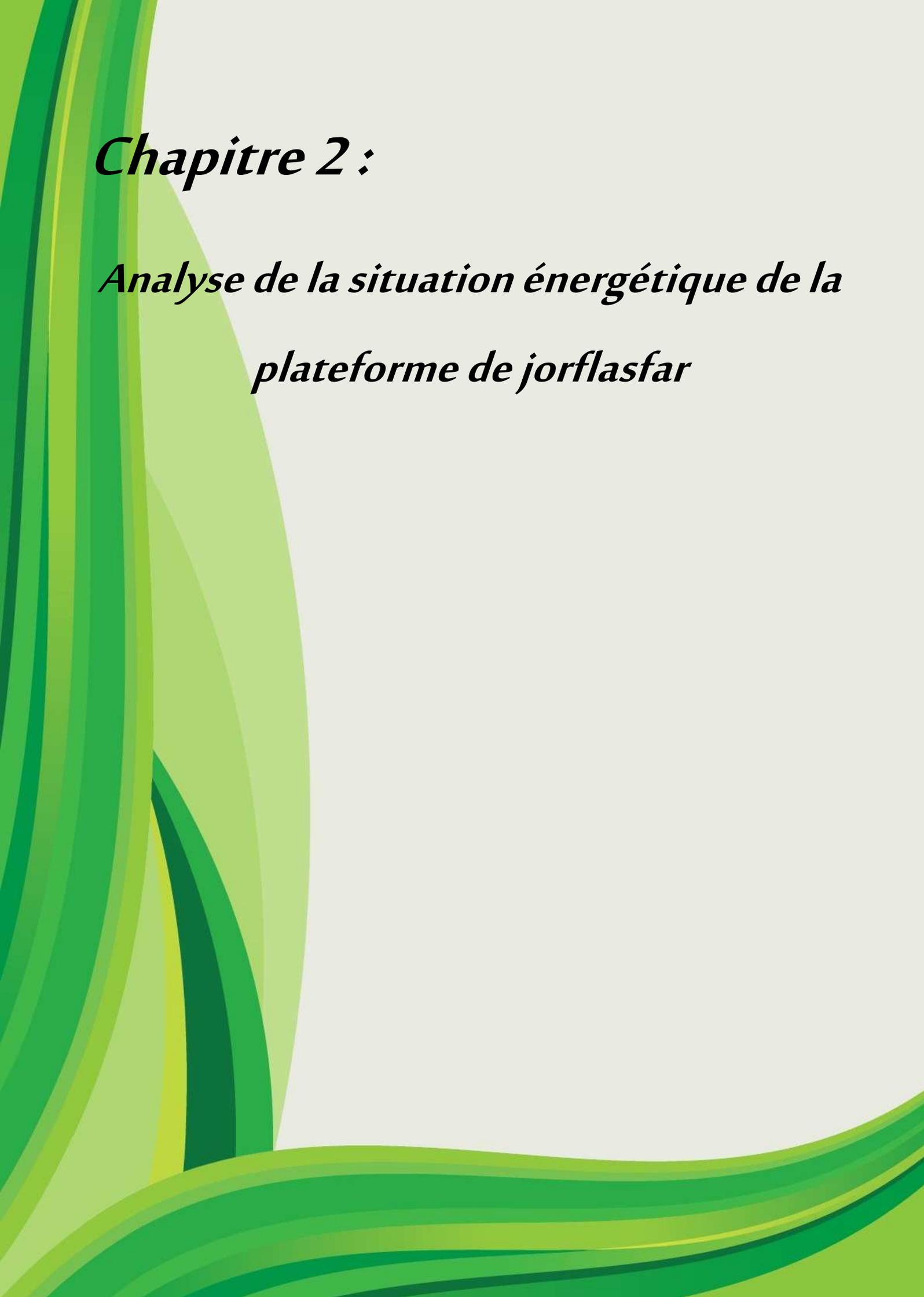
La station de compression d'air est composé de six compresseur de capacité unitaire 2 100 m³/h. ces compresseurs compriment l'air atmosphérique dans 8 ballons d'air. Une partie de l'air comprimé appelée air service est consommée telle quel, l'autre partie subit une opération de séchage et de déshumidification, cet air appelé air instrument est utilisé dans l'instrumentation.

Description de l'installation de stockage et de distribution de carburant :

L'installation de stockage des carburants est composée de deux bacs de fuel-oil de capacité unitaire 1 000 tonnes et d'un bac de gasoil de capacité 1 000 m³.

Le fioul est consommé au niveau des unités engrais et au niveau des chaudières auxiliaires.

Le gas est consommé pour le chauffage des unités sulfurique et pour le démarrage des chaudières auxiliaires.



Chapitre 2 :

Analyse de la situation énergétique de la plateforme de jorflasfar

Introduction :

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

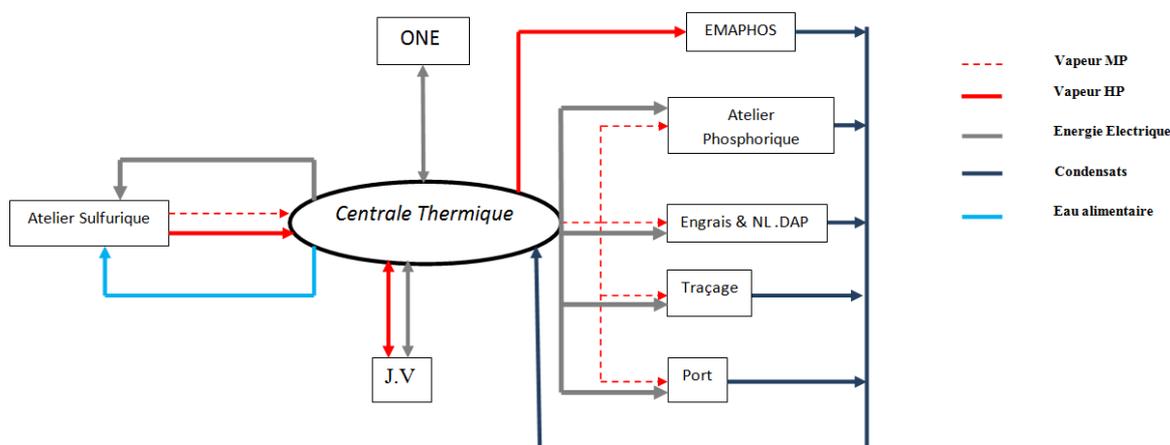


Figure 3: Cartographie présentant les entrées et les sorties des différentes utilités

La vapeur HP provient essentiellement de l'atelier sulfurique. 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 fioul et consomment de l'eau désilicée) ou en faisant appel aux JV.

La vapeur HP est détendue dans les 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 JorfLasfar, nous analyserons dans la suite sa consommation d'énergie thermique (boucle eau-vapeur) et électrique.

Échanges d'énergie:

Les Producteurs de la vapeur :

Les principaux producteurs de la vapeur sont clairement identifiés et ils sont comme suit : chaudière I, chaudière II et les lignes de l'atelier sulfurique qui produit l'acide sulfurique. La production de la vapeur est dirigée vers les GTA et les consommateurs.

Les consommateurs de la vapeur :

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

- Condenseurs auxiliaires + Bâche à condensats + Dégazeur + Bâche alimentaire.
- Phosphorique Nord et Sud.
- U63 (Port).
- Engrais.
- TED (Traitement des Eau Douces).
- Traçage.

Caractéristiques des échanges :

La consommation de vapeur se répartit comme suit :

	Nombre	Consommation unitaire de vapeur HP	Consommation unitaire de vapeur MP
EMAPHOS	1	25t/h	-
Bâche alimentaire	1	-	35t/h
Port + NL DAP	1	-	110 t/h
Traçage soufre	1	-	15t/h
CAP	20 Echelons	-	35t/h
Engrais	4 Lignes	-	2,5t/h

Tableau 1: répartition de la consommation de vapeur

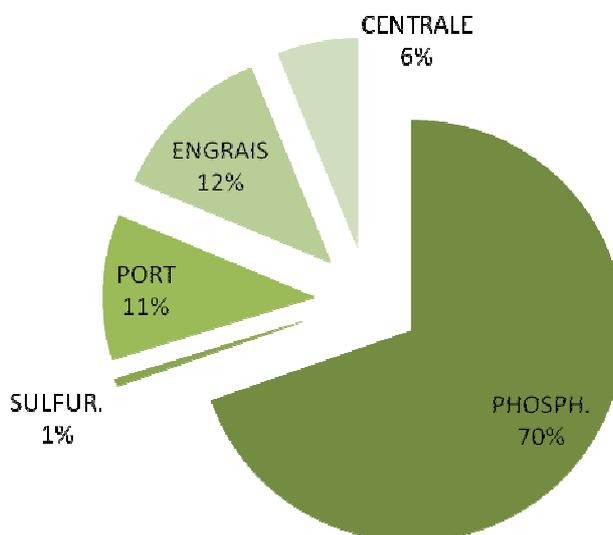


Figure 4: répartition de la consommation de la vapeur

Échanges d'énergie électrique :

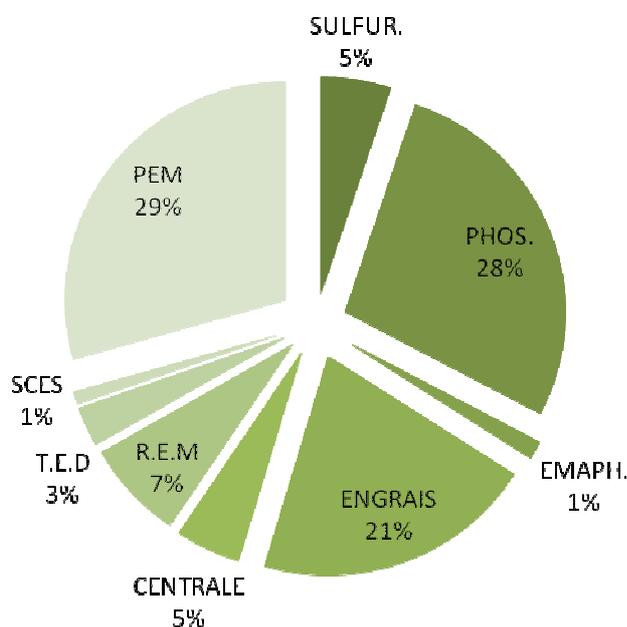


Figure 6: répartition de la consommation d'énergie électrique

L'essentiel de la consommation électrique de MP III-IV est due au pompage d'eau de mer, à l'atelier phosphorique et l'atelier de production d'engrais.

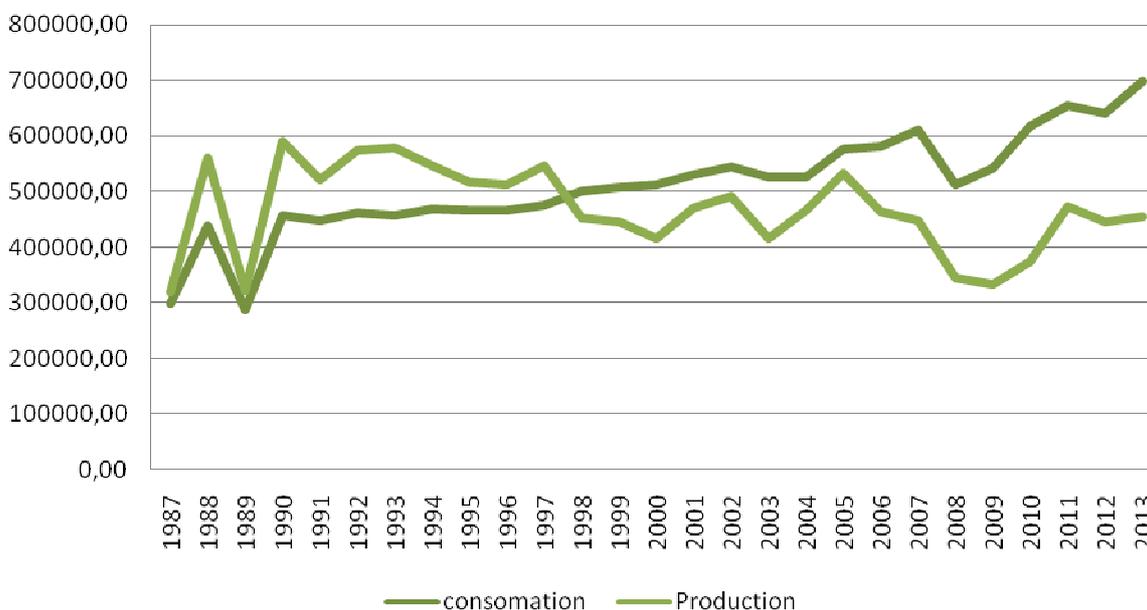


Figure 7: la production et la consommation d'énergie électrique

Le bilan énergétique a connu un déficit depuis l'année 1998, une année où le groupe OCP a ajouté deux usines (IMACID et EMAPHOS) dans la plateforme JorfLasfar, le premier qui subit un échange de l'énergie électrique avec MP3&4 et le deuxième, qui n'est qu'un consommateur de vapeur, et d'énergie électrique s'il est nécessaire. De même en 2008, deux autres usines (PMP et BMP) ont été ajoutées, pour des objectifs stratégiques et commerciaux.

Le bilan énergétique est devenu de plus en plus déficitaire au cours des années, vu dans la décroissance de ce dernier, expliqué par les nouvelles extensions des unités de production dans le pôle MPIII&IV.

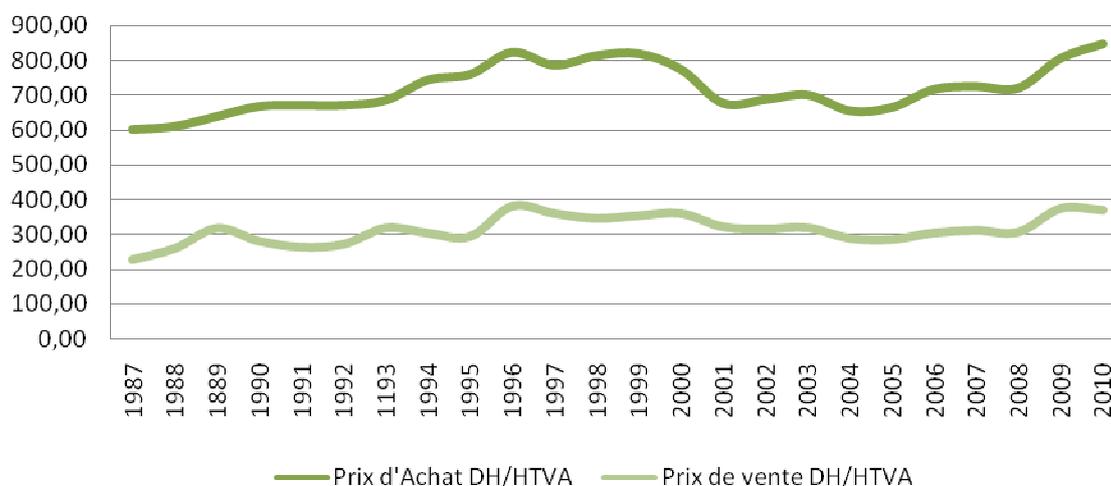


Figure 8: Evolution du prix de vente et de l'achat de l'énergie électrique

Il est clair que l'achat de l'énergie électrique est deux fois plus que la vente, on rappelle que le prix de vente et d'achat de l'énergie électrique est identique que soit pour les JV ou l'ONE. Le MPIII&IV reçoit une quantité importante de l'énergie électrique, qui fera une influence, sur le prix globale.

La problématique :

Les principales ressources concernées par les activités du Groupe OCP sont l'eau et l'énergie.

L'économie dans l'utilisation de la ressource énergétique relève aussi bien de l'amélioration de la compétitivité du Groupe, 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, le Groupe OCP 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 transformation du phosphate.
- Les mesures de rationalisation de la consommation de l'énergie électrique au niveau de l'ensemble des installations minières et industrielles du Groupe.

L'objet de ce travail est de modéliser et analyser le bilan énergétique de la centrale thermique de Maroc Phosphore JorfLasfar 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.

Etude de la centrale thermique (vapeur-EE)[1] :

La boucle eau-vapeur

La vapeur produite par les soutirages des groupes s'ajoute à celle produite par les unités sulfuriques pour être consommée par l'atelier phosphorique, l'atelier de fusion filtration, l'atelier des engrais et le réchauffage de la bache alimentaire, une partie de cette vapeur de l'ordre de 20 t/h, est détendue et utilisée pour être consommée comme vapeur basse pression pour le maintien du soufre liquide, du fuel et de la soude caustique en solution.

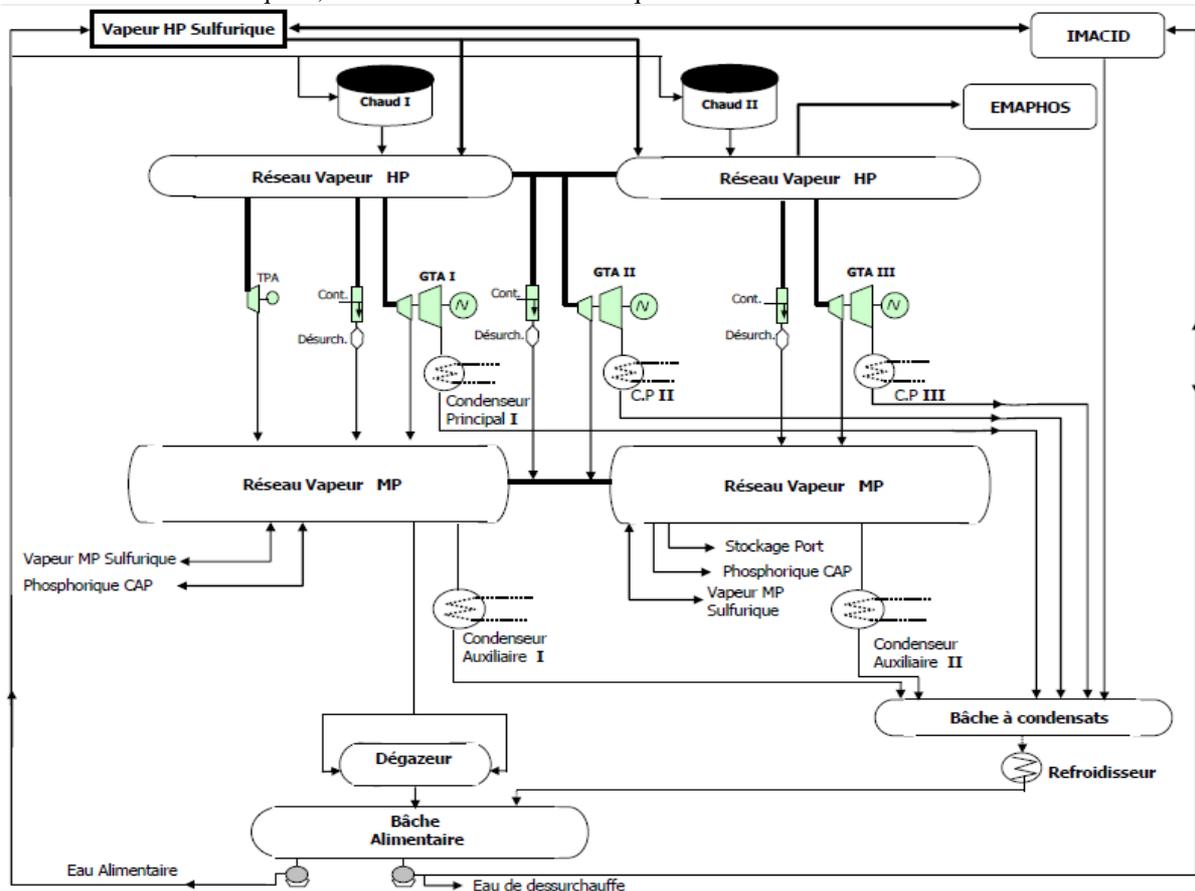


Figure 9: Schéma centrale électrique

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 excepté les condensât du phosphorique qui sont retournés diversement vers la bache alimentaire à travers d'un dégazeur thermique. Les condensats de la bache à condensât sont refroidis à l'eau de mer à une température à 40 °C et sont traités par des chaînes de finition situées au niveau de la station de traitement des eaux et sont mélangées au condensât retour phosphorique au niveau du 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 l'hydrazine. Cette eau est pompée par des pompes alimentaires de débit unitaire 425 m³/h et 80 bar vers l'atelier sulfurique pour récupérer l'énergie produite par les différentes réactions chimiques et se transforme 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 désilicé au niveau de la bache à condensât.

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'acide sulfurique, est envoyée vers le barillet HP à une pression de 56 bars et une température de 490°C.

Cette vapeur sert à :

- Alimenter les 3 groupe turbo alternateurs (GTA) et les boîtes d'étanchéité de la turbine ;
- Alimenter le barillet MP en contournant la vapeur HP en vapeur MP après sa détente et sa désurchauffe.

- Alimenter la liaison de la vapeur HP avec le collecteur HP de la centrale thermique de l'IMACID.

Réseau Vapeur moyenne pression (MP) :

La vapeur MP est prélevée à une pression entre 8 et 8,5 bars au soutirage MP des turbines. Elle est désurchauffée à environ 230°C, après son passage dans le barillet MP, est envoyée vers :

- L'atelier d'acide phosphorique;
- Le dégazeur de la bâche alimentaire;
- Détente pour production de la vapeur BP
- Le port
- Traçage

Vapeur basse pression (BP) :

Après la détente et la désurchauffe de la vapeur MP en vapeur BP de 4,5 bars et de 150°C, elle est utilisée pour le traçage du fuel oil et la préparation de la soude utilisée au traitement des eaux et au lavage et à la stérilisation des filtres du charbon actif à l'atelier TED.

Groupe turbo alternateur (GTA) :

La centrale thermoélectrique dispose de trois groupes turbo alternateurs (GTA) d'une puissance de 37MW chacun, et d'une tension de 10 KV, qui assurent la détente de la vapeur HP produite par les six chaudières de récupération de l'atelier sulfurique en transformant l'énergie thermique de cette vapeur en énergie électrique. Chaque GTA est constitué de :

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 PCJ 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 (ailette), 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.



Un alternateur :

Générateur de courant électrique alternatif destiné à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (37 MW ; 10 KV). Il est équipé de :

- Un rotor qui tourne à l'intérieur du stator (bobines fixes) à une vitesse constante de 3000tr/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

Un poste d'huile de graissage :

Ce poste est dimensionné pour assurer la lubrification continue de l'ensemble de la ligne d'arbre du GTA à une pression de 1.7 bars.

Les principales fonctions du circuit d'huile de lubrification sont:

- Le graissage des paliers et des butées des turbines.
- Caisse à huile équipée d'un système de réchauffage électrique.
- Deux motopompes auxiliaires.
- Une pompe ultime secours à courant continu.
- Deux réfrigérants d'huile à eau de NORIA capables d'éliminer la totalité des calories produites, dotés d'un by-pass partiel régulé par une vanne thermostatique.
- Deux filtres d'huile.

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.



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 bêche alimentaire.

Le réseau condensats comprend essentiellement :

- Une bêche à condensats.
- 03 refroidisseurs des condensats.
- 03 pompes de reprise.

Système d'eau alimentaire :

Ce système est destiné à assurer le conditionnement des condensats avant d'être retournées vers les Chaudières de récupération 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 hydrazine : 0.005 à 0.020 mg/l ;
- Conditionnement pour PH : ammoniac.

Le réseau d'eau alimentaire se compose essentiellement de :

- Une bêche alimentaire.
- Un dégazeur.
- Trois pompes multicellulaires d'eau alimentaire.
- Deux pompes de désurchauffe.

Circuit NORIA :

Le circuit d'eau de refroidissement Noria (5 bars & 30 °C) comprend essentiellement les équipements suivants:

- La bêche haute d'expansion
- 3 pompes de réfrigération
- 3 échangeurs NORIA

Il a comme mission la réfrigération des auxiliaires :

- Les pompes alimentaires des Chaudières auxiliaires et de récupération;
- La turbo pompe,

- 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.
- Huile des turbosoufflantes de l'atelier sulfurique.
- Huile des broyeurs du phosphate et les pompes de circulation.
- Huile du groupe électrogène.

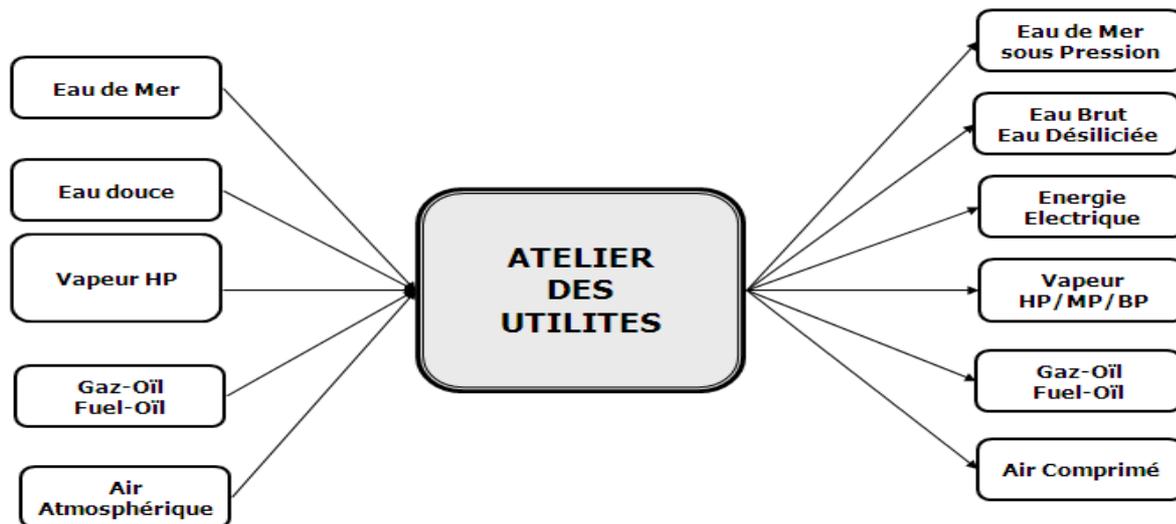


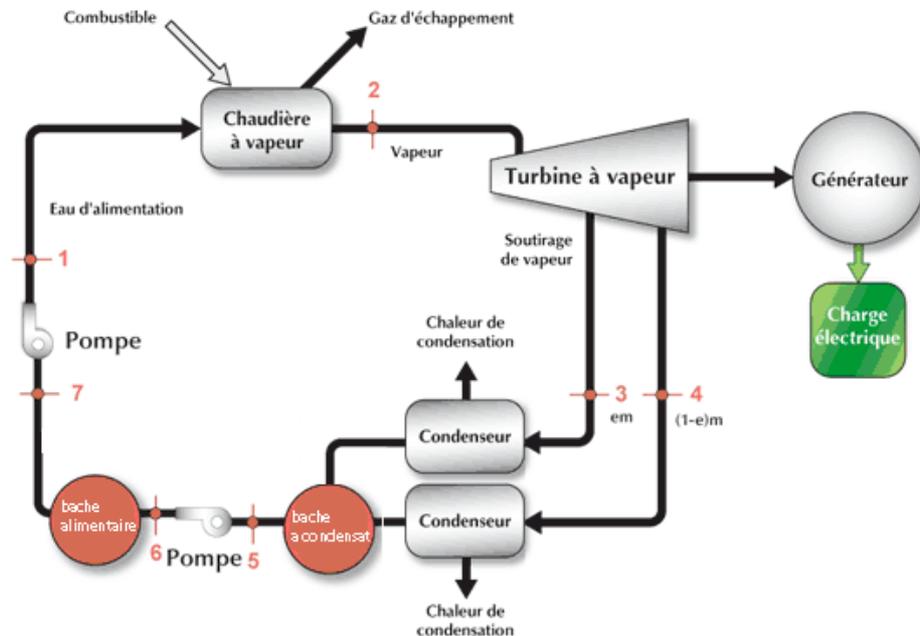
Figure 10: Schéma bloc de l'atelier des utilités

Bilan énergétique globale de la centrale thermique:

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.

Modélisation du 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 et du point 3 au point 4: 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 7 et du point 4 au 5 : Rejet de la chaleur de condensation dans le milieu ambiant lors de la transformation de la vapeur en eau dans un condenseur. Cette énergie peut aussi être extraite pour combler des charges thermiques de cogénération.
- Du point 5 au point 6 et du point 7 au point 1 : Augmentation isentropique de la pression d'eau alimentant 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 %).

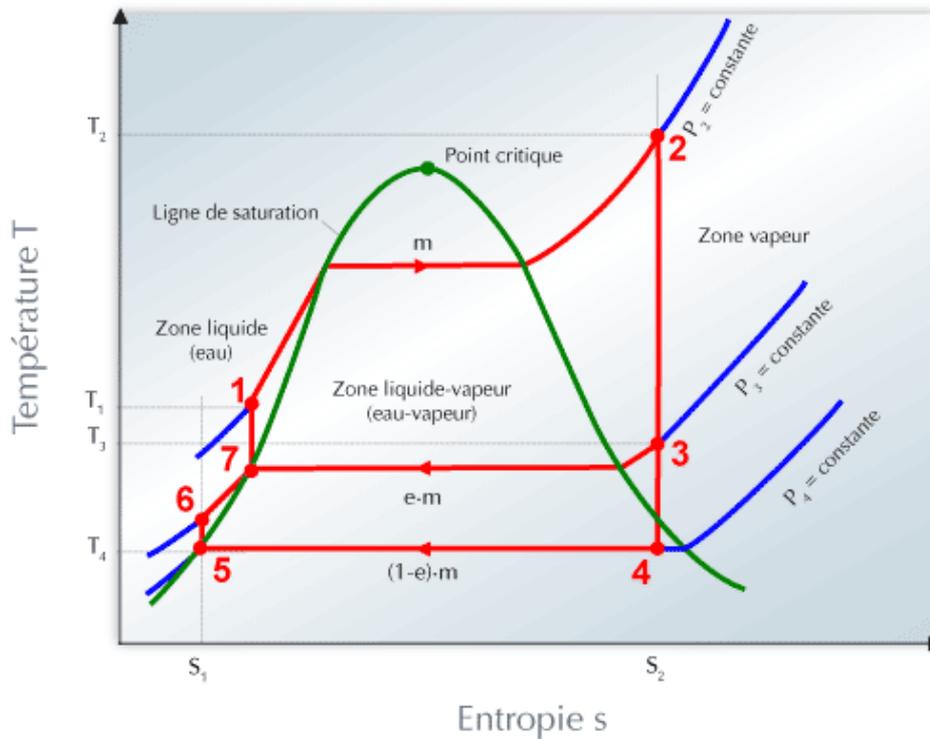


Figure 11: diagramme T-S

Transfert thermique dans le générateur de vapeur :

Puissance fournie au système :

Réaction de combustion :

La réaction de combustion du soufre liquide se fait dans un four équipé de chicane schématisé comme suit :

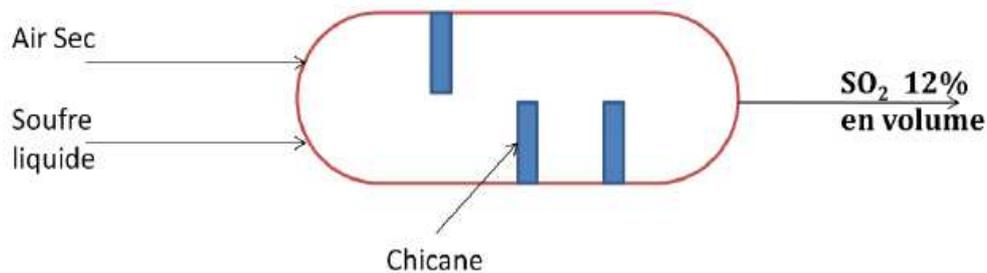
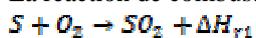


Figure 12: schéma simplifié du four de combustion

La réaction de combustion qui se produit dans le four est :



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

$$P_{comb} = Q_m(S) \cdot \frac{\Delta H_{r1}}{M(S)}$$

Avec :

$Q_m(S)$: Le débit massique du soufre, g/h.

ΔH_{r1} : L'enthalpie de la réaction de combustion, kJ/mol de soufre

$M(S)$: La masse molaire du soufre, g/mol.

D'où :

$$P_{comb} = 36235599,77 \times \frac{297}{32}$$

$$P_{comb} = 336311660,3 \text{ kJ/h}$$

$$P_{comb} = 93,42 \text{ MW}$$

Réaction de conversion :

La réaction de conversion est réalisée dans un réacteur vertical à quatre masses de lit catalytique, après chaque masse est installé un refroidisseur de gaz pour pouvoir entrer avec une température convenable dans la masse qui suit :

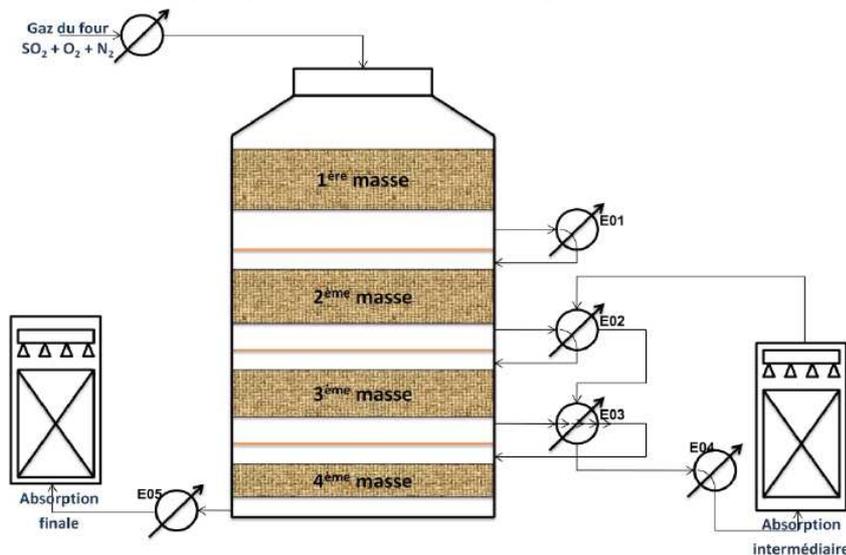


Figure 13: schéma simplifié du réacteur catalytique à quatre masses

La réaction de conversion qui se produit dans le réacteur catalytique à quatre masses est :



Le rendement de la conversion de SO₂ en SO₃ est de 99,5%

Donc la puissance fournie par la réaction de conversion est calculée par la relation :

$$P_{conv} = Q_m(SO_2) \cdot \frac{\Delta H_{r2}}{M(SO_2)} \cdot \eta_{conv}$$

Avec :

$Q_m(SO_2)$: Le débit massique de SO₂ à l'entrée du convertisseur, g/h

$M(SO_2)$: La masse molaire de SO₂, g/mol

ΔH_{r2} : L'enthalpie de la réaction de conversion, kJ/mol de SO₂

η_{conv} : Le rendement de la conversion

D'où :

$$P_{conv} = 72471199,54 \times \frac{92}{64} \times 0,995$$

$$P_{conv} = 103656462,6 \text{ kJ/h}$$

$$P_{conv} = 28,79 \text{ MW}$$

Absorption de SO₃ :

L'absorption de SO₃ est réalisée dans deux absorbeurs à garnissage et à contre courant (le gaz introduit par le bas et le liquide d'arrosage est introduit par le haut), le premier est situé juste après la troisième masse du réacteur catalytique pour absorber SO₃ déjà converti et pour améliorer le rendement de la conversion de la quatrième masse, et le deuxième absorbeur est situé après la 4^{ème} masse pour absorber SO₃ qui reste.

Le schéma suivant montre une colonne d'absorption à garnissage avec les entrées et les sorties du gaz et du liquide

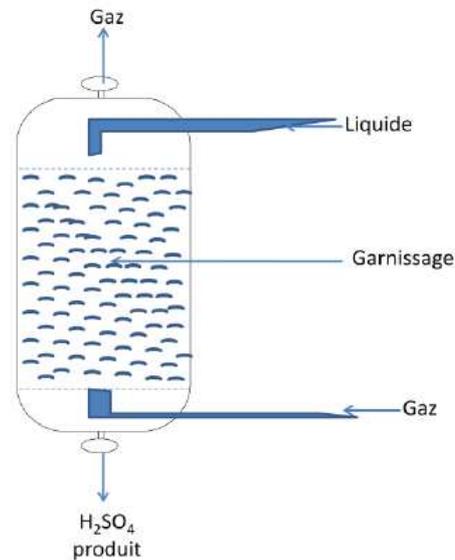
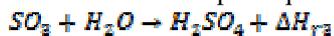


Figure 14: schéma simplifié de l'absorption de SO₃

La réaction d'absorption qui se produit est de la forme :



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

$$P_{comb} = Q_m(\text{SO}_3) \cdot \frac{\Delta H_{r3}}{M(\text{SO}_3)}$$

Avec :

$Q_m(\text{SO}_3)$: Le débit massique de SO₃ à l'entrée de l'absorbeur, g/h

ΔH_{r3} : L'enthalpie de l'absorption, kJ/mol de SO₃

$M(\text{SO}_3)$: La masse molaire de SO₃, g/mol

- Absorption de SO₃ dans la tour intermédiaire :

Calcul du débit massique de SO₃ sortant de la 3^{ème} masse :

Le rendement de conversion à la sortie de la 3^{ème} masse est de 93%

$$Q_m(\text{SO}_3)_{3\text{ème masse}} = Q_m(\text{SO}_2) \cdot \eta_3$$

$$Q_m(\text{SO}_3)_{3\text{ème masse}} = 84247,77 \text{ kg/h}$$

Donc la puissance fournie par l'absorption intermédiaire est :



$$P_{abs \text{ T.Jnt}} = 84247769,46 \times \frac{130}{80}$$

$$P_{abs \text{ T.Jnt}} = 136902625,4 \text{ kJ/h}$$

$$P_{abs \text{ T.Jnt}} = 38,03 \text{ MW}$$

- Absorption de SO_3 dans la tour finale :

Calcul du débit massique de SO_3 sortant de la 4^{ème} masse :
Le rendement de conversion de la 4^{ème} masse est de 6,5%

$$Q_{m(\text{SO}_2) \text{ 4ème masse}} = Q_{m(\text{SO}_2)} \cdot \eta_4$$

$$Q_{m(\text{SO}_2) \text{ 4ème masse}} = 5888,28 \text{ kg/h}$$

Donc la puissance fournie par l'absorption finale est :

$$P_{abs \text{ T.Final}} = 5888284,96 \times \frac{130}{80}$$

$$P_{abs \text{ T.Final}} = 9568463,06 \text{ kJ/h}$$

$$P_{abs \text{ T.Final}} = 2,66 \text{ MW}$$

D'où :

$$P_{abs} = 146471088,4 \text{ kJ/h}$$

$$P_{abs} = 40,69 \text{ MW}$$

Autre puissance fournie au système :

- La puissance libérée lors de dilution est :

$$P_{dilu} = 0,38 \text{ MW}$$

- A l'entrée du système, l'air de la combustion est humide, la vapeur d'eau contenue dans cet air se condense en eau liquide et elle par la suite absorbée au niveau de la tour de séchage (D01) en utilisant de l'acide sulfurique concentré à 98,5%

D'où :

$$P_{air \text{ humide}} = 2,69 \text{ MW}$$

$$P_{air \text{ sec}} = 1,31 \text{ MW}$$

- La puissance cédée par le soufre liquide est donnée par :

$$P_{soufre} = 1,55 \text{ MW}$$

- La puissance cédée par l'eau du procédé est donnée par :

$$P_{e.p} = 2,006 \text{ MW}$$

Donc finalement la puissance totale fournie au système :

$$P_{fournie} = P_{conv} + P_{comb} + P_{abs} + P_{dilu} + P_{air \text{ humide}} + P_{air \text{ sec}} + P_{soufre} + P_{e.p}$$

$$P_{fournie} = 170,83 \text{ MW}$$



Puissance perdue par le système :

La puissance emportée par l'acide produit :

$$P_{\text{acide p}} = 0,78 \text{ MW}$$

Gaz rejeté par la cheminée :

Le gaz rejeté par la cheminée est composé essentiellement du reste de SO_2 non converti, de l'Oxygène et de l'Azote.

- La puissance perdue par SO_2 rejeté : $P_{\text{SO}_2, \text{ch}} = 0,00358$
- La puissance perdue par l'Oxygène rejeté : $P_{\text{O}_2, \text{ch}} = 0,133$
- La puissance perdue par l'Azote rejeté : $P_{\text{N}_2, \text{ch}} = 3,46$

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

$$P_{\text{perdue ch}} = 3,59 \text{ MW}$$

La puissance emportée par l'eau de mer lors du refroidissement de l'acide sulfurique à l'aide des refroidisseurs :

$$P_{\text{perdue eau de mer}} = 50,21 \text{ MW}$$

Donc la puissance totale perdue par la cheminée est :

$$P_{\text{perdue}} = P_{\text{perdue ch}} + P_{\text{perdue eau de mer}} + P_{\text{acide p}}$$
$$P_{\text{perdue}} = 54,58 \text{ MW}$$

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.

$$P_{\text{récupérée}} = P_{\text{fournie}} - P_{\text{perdue}}$$

$$P_{\text{récupérée}} = 116,25 \text{ MW}$$

Rendement du générateur de vapeur:

$$\eta_{\text{GV}} = P_{\text{récupérés}} / P_{\text{fournie}}$$
$$\eta_{\text{GV}} = 68,05\%$$

La détente dans la turbine [2]:

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 :



$$W_{dét} = m \{ e \cdot (h_2 - h_3) + (1 - e) \cdot (h_2 - h_4) \}$$

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.

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

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 :

$$x = \frac{S_2 - S_1}{S_v - S_1}$$

Où, x est l'indice de qualité de la vapeur sortant de la turbine, S_2 l'entropie de la vapeur sortant de la turbine, S_1 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.

$$S_1 = 0,552 \text{ kJ/K.kg}; S_2 = 7,047 \text{ kJ/K.kg}; S_v = 8,285 \text{ kJ/K.kg.}$$

$$x = \frac{S_2 - S_1}{S_v - S_1}$$

$$x = 0,84$$

	Débit (T/h)	Température (°C)	Pression (bar)	Enthalpie (KJ/Kg)
Admission	190	488	55	3400,6
Soutirage	100	277	9,5	3003,65
Echappement	90	38	0.068	2184,21

Tableau 2: caractéristiques de la vapeur

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

$$W_{dét} = 41,44 \text{ MW}$$

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 emmagasinée dans la vapeur donnée à la turbine au cours de la détente ($W_{dét}$).

$$\eta_{turbine} = P_t / W_{dét}$$

Rendement de l'alternateur :

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

$$\eta_{alternateur} = P_{li} / P_t$$



Rendement de GTA :

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

$$\eta_{GTA} = \eta_{turbine} \cdot \eta_{alternateur}$$

$$\eta_{GTA} = P_r / W_{dét} \cdot P_u / P_r$$

$$\eta_{GTA} = P_u / W_{dét}$$

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 données par le constructeur.

$$P_u = 37,6 \text{ MW} \quad (\text{Donner par le constructeur})$$

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

$$\eta_{GTA} = 90,73\%$$

Transfert thermique au condenseur [3] :

Calcul de la quantité de chaleur échangée au condenseur 4-5 :

Hypothèse : $p_4 = p_5 = 0,068 \text{ bar}$

L'application du premier principe permet d'écrire :

$$dh = \delta W_{in} + \delta q \quad \text{Or } \delta W_{in} = 0 \quad \text{puisque'il n'y a pas de parties mobiles dans le condenseur.}$$

$$\text{D'où : } dh = dq$$

Soit après intégration :

$$\Delta h_{45} = h_5 - h_4$$

$$\Delta h_{45} = 161,1 - 2185,21$$

$$\Delta h_{45} = -2024,11 \text{ kJ/kg}$$

De même, la quantité de chaleur échangée au condenseur 3-7 :

Hypothèse : $p_3 = p_7 = 9,5 \text{ bar}$

L'application du premier principe permet d'écrire :

$$dh = \delta W_{in} + \delta q \quad \text{Or } \delta W_{in} = 0 \quad \text{puisque'il n'y a pas de parties mobiles dans le condenseur.}$$

$$\text{D'où : } dh = dq$$

Soit après intégration :

$$\Delta h_{37} = h_7 - h_3$$

$$\Delta h_{37} = 752,74 - 2451,56$$

$$\Delta h_{37} = -1698,82 \text{ kJ/kg}$$

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.

Paramètres de fonctionnement des GTA ;

Introduction ;

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.

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 : 190t/h ; 55 bar
- Soutirage : 100t/h ; 9,5 bar

Température d'admission (°C)	Température de soutirage (°C)	Puissance (MW)
460	254	35,617
470	262	36,145
480	270	36,621
488	277	37,600

Tableau 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 :

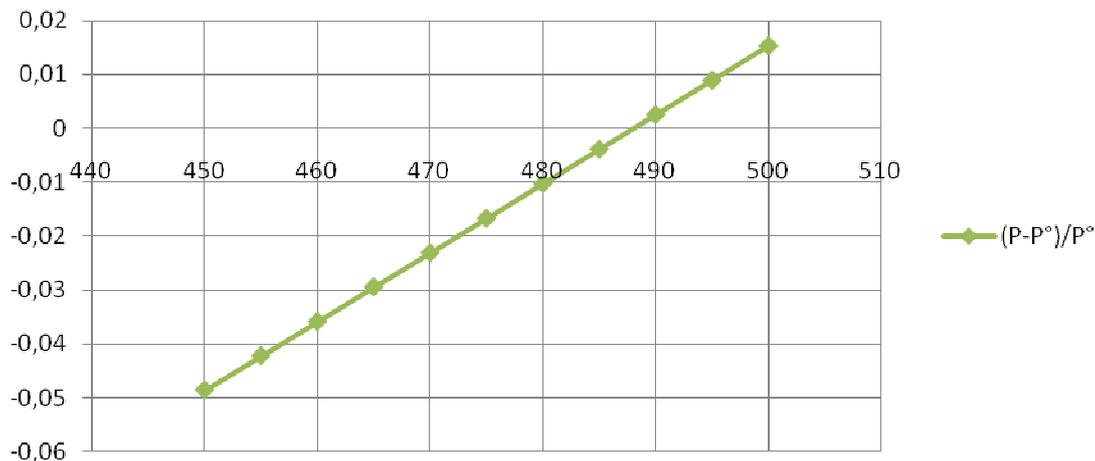


Figure 15: variation de la puissance relative en fonction de la température d'admission

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 0,5MW en moyenne.



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.

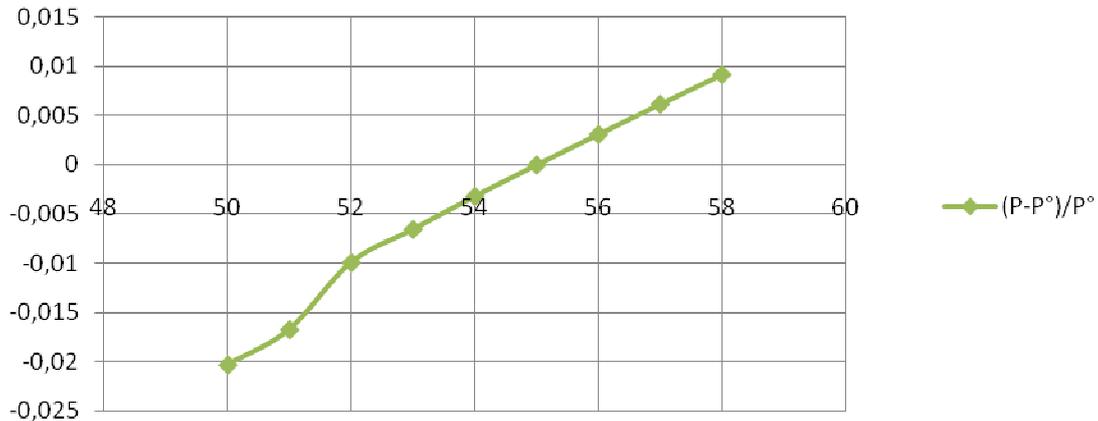


Figure 16: variation de la puissance relative en fonction de la pression a l'admission

En comparant les résultats obtenus avec celle dans la documentation du fournisseur, On a constaté que les résultats sont cohérents entre 50 et 55 bars, et que la puissance relative présente un maximum au niveau de la pression nominale (55 bar), elle diminue de 0,5% lorsqu'on s'éloigne de cette pression.

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 : 55 bar ; 488 °C
- Soutirage : 100t/h ; 9,5 bar

Débit d'admission (T/h)	Débit de soutirage(T/h)	Puissance (MW)
170	100	31,2
175	100	32,6
180	100	34,1
185	100	35,5
190	100	37

Tableau 4: La puissance en fonction du débit d'admission

Les calculs ont été effectués pour des valeurs de débit d'admissions comprises entre 90 T/h et 190T/h et permettent de conclure qu'une augmentation de débit de 5 T/h non soutiré, entraîne une augmentation de puissance d'environ 1,5 MW.

Chapitre 3 :

Calcul du coût d'exploitation de la vapeur et de l'énergie électrique

Introduction :

Les deux chaudières de la centrale thermique de MP 3 & 4 ont pour rôle principal, le démarrage du complexe et l'appoint de la vapeur en cas de besoin des unités phosphoriques.

En plus de ces deux rôles et vu les contraintes que pose l'achat de l'énergie électrique de l'ONE, 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 l'ONE et en déduire la production optimale.

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

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.

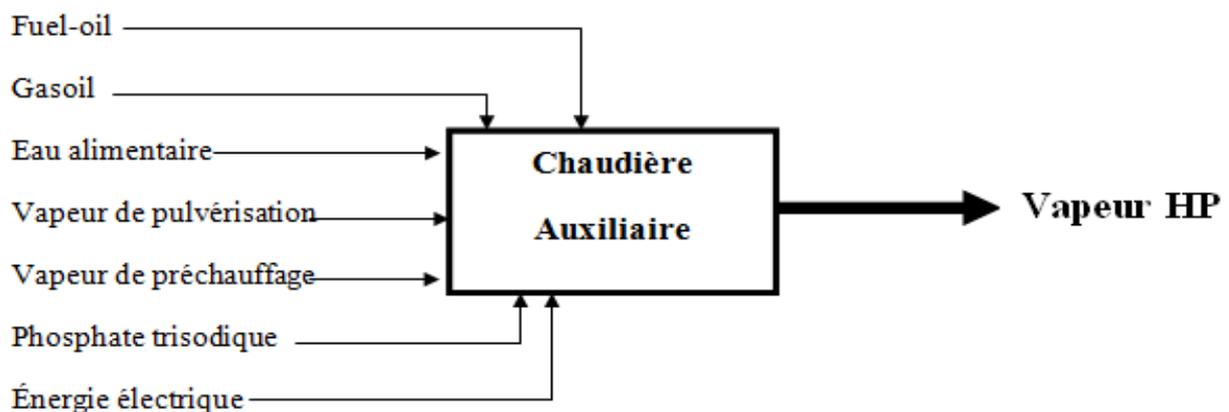


Figure 17: Schéma de la chaudière

Charges variables :

- **Fuel-oil** : Apporte l'énergie nécessaire pour la transformation de l'eau en vapeur.
- **Energie Electrique** : Energie nécessaire pour la force motrice : ventilateur de soufflage, ventilateur de recyclage et la pompe de combustible.



- **Eau Alimentaire** : Matière première pour la production de la vapeur d'eau.
- **Vapeur de pulvérisation de Fuel-oil**: Vapeur nécessaire pour la pulvérisation de fuel-oil au niveau du brûleur.
- **Vapeur de réchauffage de Fuel-oil**: Vapeur nécessaire pour le chauffage de fuel-oil de 20°C à 130°C.
- **Phosphates Trisodique**: Pour le conditionnement des eaux de chaudière.
- **Entretiens et réparations.**

Estimation des charges variables :

Les prix des matières premières et énergie sont basés sur le prix de revient cumulé des mois de Novembre 2013:

Prix de matières premières et énergie			Consommation spécifique/Tonne de vapeur	
Matière	Unité	Prix en DH	Consommation	Coût spécifique en DH
Phosphate trisodique	kg	6,82	0,0336	0,229152
Energie Electrique	MWh	134,19	0,0033	0,442827
Vapeur	Tonne	20,32	0,0343	0,696976
Eau Alimentaire	m3	9,46	1,093	10,33978
Entretiens et réparations				0,42
Total charge variable (Hors Fuel)				12,128735

Tableau 5: Coûts des charges variables

Charges fixes :

- **L'Allumage**: Cette opération consiste à un allumage de la chaudière par un allumeur à gasoil.
- **Conditionnement**: Il consiste à un envoi de la vapeur non conforme à l'atmosphère jusqu'à atteinte de la température de 490°C.
- **Lessivage**: Cette opération consiste à un nettoyage du circuit de fuel-oil pour éviter l'encrassement du circuit.
- **Salaires et appointements hors Heures Supplémentaires (HS).**



• **Dotations d'exploitation aux amortissements.**

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 trois 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.

Estimation du prix de l'allumage :

On estime le prix de l'allumage de la chaudière par le gasoil à 50 Dh.

Estimation du prix du conditionnement :

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

$$Q = \frac{0,7}{60} = 0,0116 \text{ T/mtn}$$

$$Q = 0,0116 * 15 = 0,175$$

$$P = 0,175 * 3345,18 = 585,4 \text{ Dh}$$

$$P = 585,4 \text{ Dh}$$

Estimation du prix du lessivage :

Pour éviter l'encrassement du circuit du fuel oil, 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 6,07 Dh le litre et sa masse volumique vaut $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$, on obtient :

$$Q = \frac{0,4}{60} = 0,0066 \text{ T/min}$$

$$Q = 0,0066 * 5 = 0,033$$

$$P = \frac{(0,033 * 6,07)}{(860 * 10^{-6})}$$

$$P = 235,27 \text{ Dh}$$

Charge fixe	Coût (DH)
Allumage	50
Conditionnement	585,4
Lessivage	235,27
Tableau 6: Coût des charges fixes	
Salaire et appointements hors HS	3,55
Dotations d'exp aux amortissements	1,23
Total(DH)	875,45

On a pu calculer tonne de vapeur la chaudière basant sur la

Exploitation des résultats :

le coût d'une HP produite par auxiliaire en se relation



suivante :

$$C = (C_v \times P) + C_f$$

$$C_v = C_{hf} + C_f$$

Avec :

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

C_v : Charges variables en Dh

C_{hf} : Charges variables hors fuel en Dh

C_f : Coût du fuel oil nécessaire pour la production d'une tonne de vapeur HP en Dh

P : Quantité de production de vapeur HP en T

C_f : Charges fixes en Dh

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

$$P_f = \frac{P}{H_m}$$

Avec :

P_f : 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 de Novembre :

date	production de vapeur (T)	nombre d'heure de marche en (h)	F.O consommé (T)	coût F.O (DH)	coût total de la production de vapeur (DH)	consommation spécifique fuel (T)	Productivité (T/h)	Coût d'une tonne de vapeur (DH)
01-nov	373	17,9	31,66	105908,39	110297,91	0,0848	20,83	298,41
03-nov	208	10,9	17,74	59343,49	61801,06	0,0852	19,08	301,64
04-nov	442	22	36,84	123236,43	128433,84	0,0833	20,09	292,92
05-nov	317	15,6	26,56	88847,98	92581,80	0,0837	20,32	295,16
15-nov	57	2,6	4,68	15655,44	16344,99	0,0821	21,92	302,14
16-nov	113	5,1	8,28	27698,09	29043,33	0,0732	22,15	264,99
Tableau 7: cout d'une tonne de vapeur produit par la chaudière auxiliaire au mois de novembre 2013								
23-nov	166	7,71	12,26	41011,90	42977,713	0,0738	21,53	264,46
30-nov	44	2,11	3,32	11105,99	11643,33	0,0754	20,85	284,43
moyenne						0,0790	21,14	288,02



Etude de la rentabilité de la chaudière :

<i>tonnage (t)</i>	<i>chaudière</i>	<i>*JV a leur demande</i>	<i>JV a notre demande</i>	<i>A. Sulfurique</i>
1	1154,66427	100,36	260,367	20,2
5	454,580274	100,36	260,367	20,2
10	367,069774	100,36	260,367	20,2
20	323,314524	100,36	260,367	20,2
25	314,563474	100,36	260,367	20,2
50	297,061374	100,36	260,367	20,2
100	288,310324	100,36	260,367	20,2
150	285,393307	100,36	260,367	20,2
250	283,059694	100,36	260,367	20,2
500	281,309484	100,36	260,367	20,2
800	280,653155	100,36	260,367	20,2
1000	280,434379	100,36	260,367	20,2

*JV : Joins Venture (IMACID, BMP, PMP)

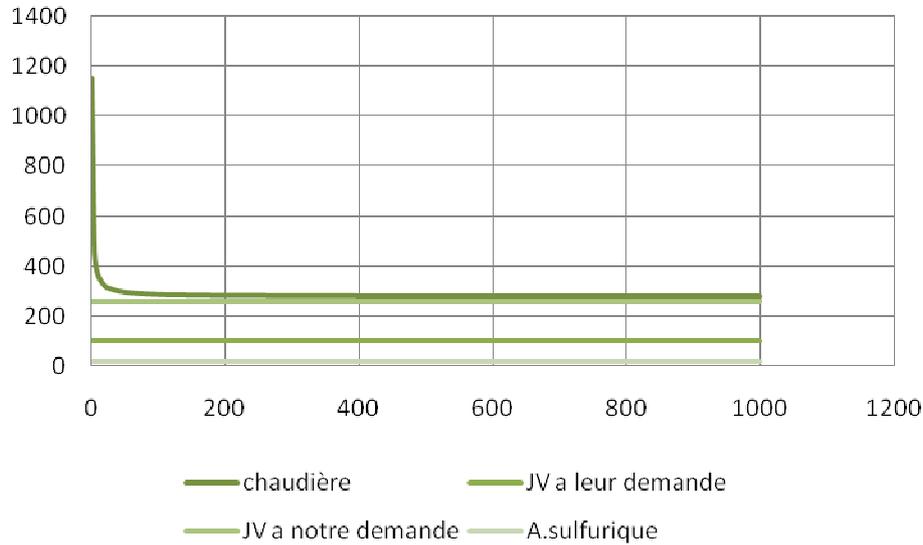


Figure 18: Variation du coût d'une tonne de vapeur

Pour que la chaudière devienne rentable pour la production de la vapeur HP, il est recommandé de démarrer la chaudière pour une production supérieure à 200t, c'est-à-dire de travailler pendant 9h en continue avec une productivité de 22 t/h.

Donc, on peut définir le lot minimum de la chaudière à 200 t.

Comparaison du coût d'une tonne de vapeur HP produite par les différents fournisseurs :

	chaudière	sulfurique	JV a notre demande	JV a leur demande
Coût d'une tonne de vapeur HP(DH)	283,87	20,2	260,367	100,36

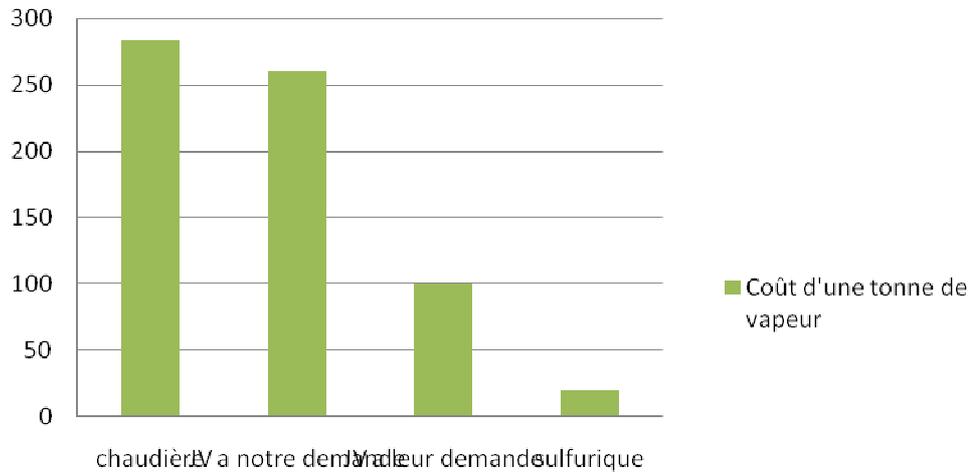


Figure 19: Comparaison entre le coût d'une tonne de vapeur HP produite par les différents fournisseurs

Vu l'influence des charges fixes, le coût d'une tonne de vapeur HP produite par la chaudière est très important par rapport aux autres fournisseurs.

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

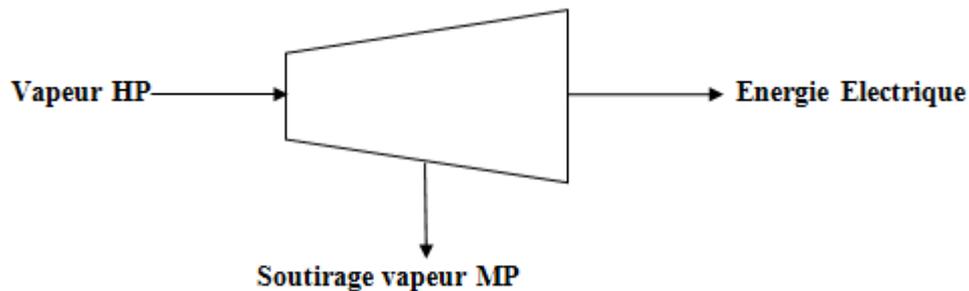


Figure 20: Schéma d'un GTA

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 acheté de l'ONE suivant les heures pleines, de pointes et creuses selon le tableau ci-dessous :



	Du 01/10 au 31/03		Du 01/04 au 30/09		Prix du MW ONE en DH
	Période	Durée	Période	Durée	
Heures Pleines	04h00' à 17h00'	10 h	07h00' à 18h00'	11 h	896,895
Heures de Pointes	17h00' à 22h00'	05 h	18h00' à 23h00'	05 h	1271,228
Heures Creuses	22h00' à 07h00'	09 h	23h00' à 07h00'	08 h	551,974

Calcul du coût de l'énergie électrique :

	chaudière	atelier sulfurique	JV à notre demande	JV à leur demande	ONE pleine	ONE creuse	ONE pointe
Coût d'un MWh (Dh)	1428,9	101	1301,835	501,8	896,895	551,974	1271,228

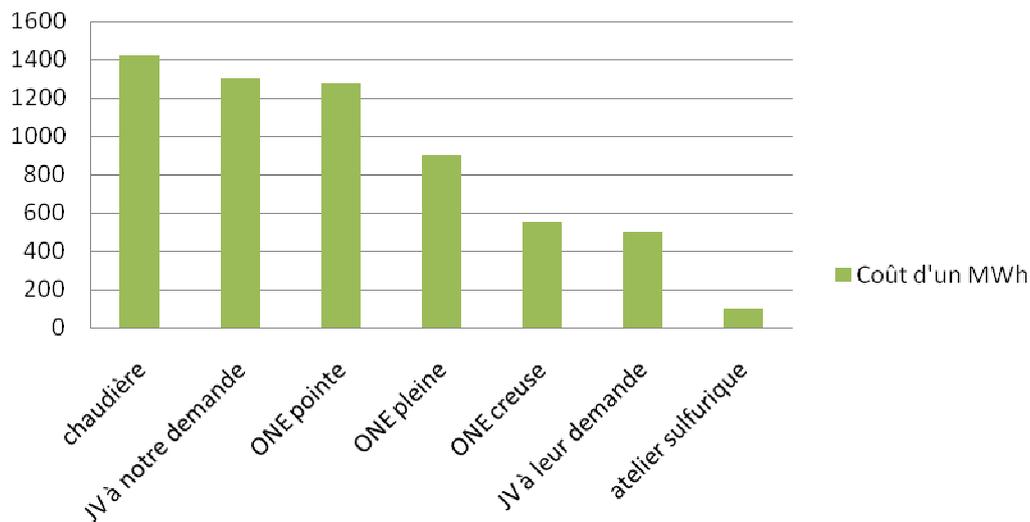


Figure 21: Comparaison entre les coûts d'un MWh d'énergie électrique délivré par les différents fournisseurs

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 sulfurique.
- Selon les tranches horaires : on remarque que le coût d'un MWh fourni par l'ONE 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 sulfurique 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 l'ONE aux heures creuses.
 - Il faut éviter de transformer la vapeur produite par la chaudière en énergie électrique, car elle est très coûteuse.



Conclusion :

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 Maroc Phosphore, 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 JorfLasfar, 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 JorfLasfar, nécessite la contribution de tous les occupants ainsi l'amélioration des moyens de mesures, il reste à mettre on place un plan d'action :

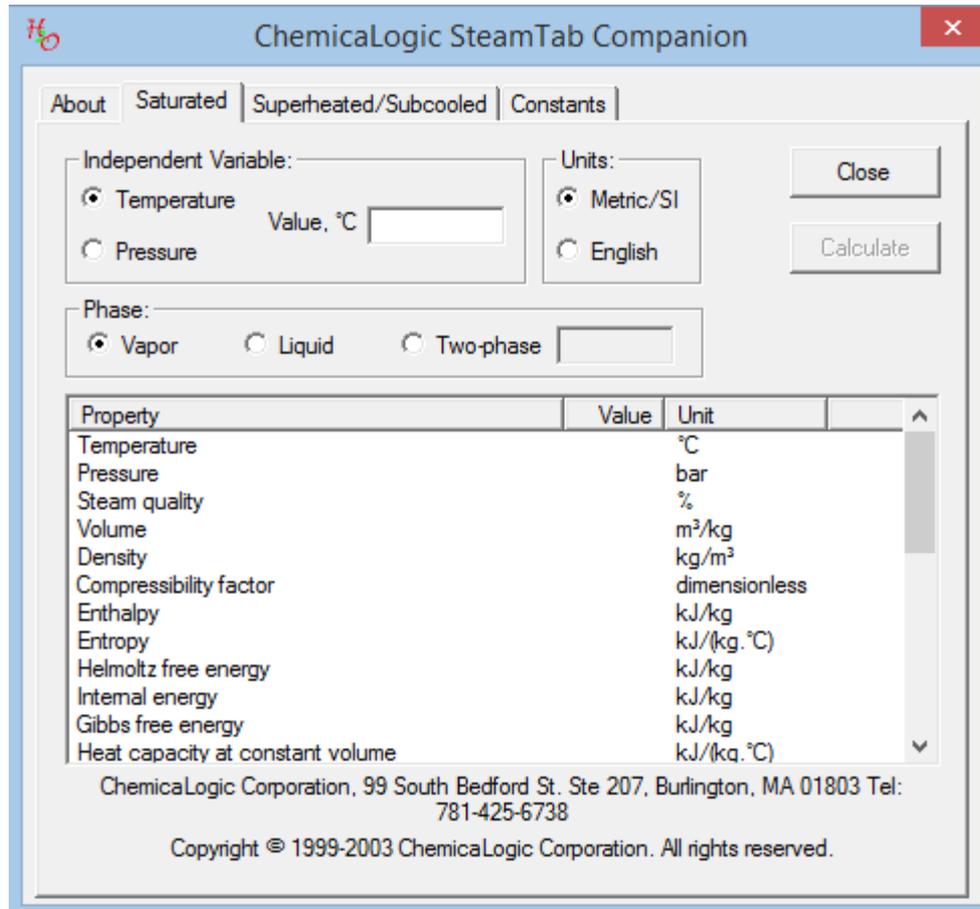
- ✓ *Le Contrôle et diagnostiquer les installations des différents ateliers, dans l'objectif d'éliminer toute source de surconsommation en utilités.*
- ✓ *La synchronisation entre les différents ateliers de la plate forme.*
- ✓ *La mise à niveau du système de comptage.*
- ✓ *L'optimisation de l'échange avec l'ONE 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.



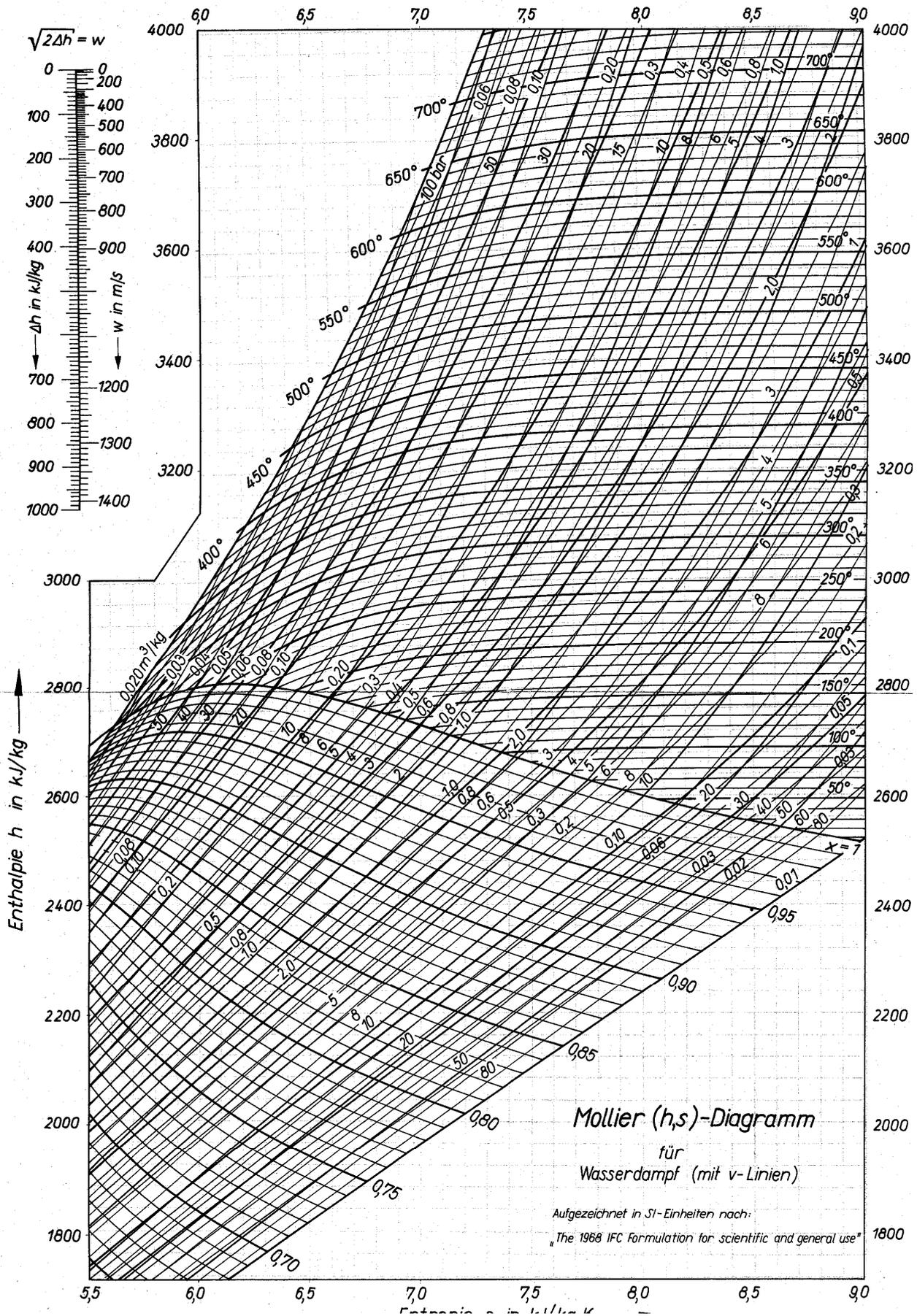
Annexe :

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





Annexe 2 : Diagramme de Mollier vapeur d'eau





Annexe 3 : Caractéristiques des équipements de la centrale

TURBINE :

Type : Multicellulaire à condensation et à soutirage réglé
Type 3350 ECD 831
Fournisseur : ALSTHOM ATLANTIQUE – RATEAU

Paramètre de marche	Garantie	Optimum
- Pression Vapeur admission	55 bars	55 bars
- Température vapeur admission	488°C	488°C
- Pression soutirage	9,5 bars	9,5 bars
- Température soutirage	276°C	283°C
- Pression vapeur échappement	0,068 bar	0,049 bar
- Température vapeur échappement	38°C	32°C
- Débit vapeur admission	190 t/h	165 t/h
- Débit vapeur soutirage	100 t/h	120 t/h
- Débit vapeur échappement	90 t/h	45 t/h
- Vitesse de rotation	3 000 trs/mn	3 000 trs/mn
- Vitesse de déclenchement (survitesse)	3 300 trs/mn	
- 1 ^{ière} Vitesse critique	1 850 trs/mn	
- 2 ^{ième} Vitesse critique		
- Puissance	37 000 Kw	25 400 Kw

ALTERNATEUR :

Type : A Socle incorporé dans la carcasse T 190 / 240
Fournisseur : ALSTHOM ATLANTIQUE

Paramètre de marche	
- Puissance apparente	47 000 KVA
- Puissance en marche continue	37 600 Kw
- Tension \pm 5%	11 000 V
- Cos ϕ	0,8
- Fréquence	50 Hz
- Vitesse	3 000 trs/mn
- Entre fer	35 mn
- Débit air	17 m ³ /s
- Pertes à dissiper	700 Kw
- 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

Bibliographie :

- [1] Documentation de l'OCP.
 [2] R. Bidard and J. Bonnin. Energétique et turbomachines. Eyrolles, 1979.
 [3] Cours machine thermique Mr.S.Haouache.