

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلكايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de Technologie



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie mécanique

Spécialité : Génie Energétique

Par :

BENICHOU Meriem

DABBIA Fatma El Batoul

Sujet

**Audit énergétique de l'installation industrielle
du SH/DP/CPF/Rhourde-Nouss**

Soutenu publiquement, le 30 / 09 /2020, devant le jury composé de :

| | | |
|------------------------|------------------------|--------------|
| M. ALIANE Khaled | Professeur à l'UABT | Président |
| M.SARI HASSOUN Zakaria | MCA à l'UABT | Examinateur |
| M.SELADJI Chakib | Professeur à l'UABT | Encadreur |
| M.BENKHALIFA Hicham | Coordinateur Exp à RNS | Co-encadreur |

Année universitaire : 2019 – 2020

Remerciements

Au nom de Dieu clément et miséricorde Dieu le grand merci lui revient, pour son aide et la volonté qu'il m'a donnée pour surmonter tous les obstacles et les difficultés durant mes années d'études et de m'avoir éclairé mon chemin afin de réaliser ce modeste travail.

Ce travail a représenté pour moi un long engagement personnel, mais il a aussi impliqué de nombreuses personnes sans eux le résultat aurait certainement été différent.

A Monsieur le chef région par intérim **HEMMADI Bachir**, mon parrain de stage, En plaçant son nom à la préface, c'est une gratitude et une reconnaissance, pour tout ce qu'il m'avait donné, ses soins exceptionnels, ses grands qualités humaines et pédagogique, et pour m'avoir proposé ce thème de recherche et de m'avoir orienté et conseillé tout au long de la préparation de ce mémoire, ainsi pour son soutien permanent qu'il a manifeste et surtout dans les inévitables moments de doute, sincèrement merci.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à mon co-encadreur **M. BENKHALIFA Hicham** pour m'avoir accepté dans ce projet et d'avoir le su guider en conciliant les besoins industriels et les préoccupations scientifiques, pour sa contribution générale à l'élaboration de ce travail avec compétence et gentillesse.

C'est avec une considération particulière, je remercie mon encadreur **M. SELADJI Chakib** pour son encadrement, sa disponibilité. Ainsi, la clarté de son raisonnement et la finesse de son expertise scientifique ont grandement facilité le bon déroulement de la rédaction de cette étude.

De même, j'assure mes respectueux remerciements à messieurs les membres de jury, qui j'ai fait l'honneur de bien vouloir participer à ce jury et d'examiner ce travail.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou loin durant toutes mes études et à l'élaboration de ce mémoire, trouvent ici l'expression de mes profondes gratitude et respects.

Meriem

Dédicaces

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière :

A mon cher père

Nulle expression ne peut traduire le noble sentiment que j'ai à votre égard, Pour l'amour que vous m'avez toujours porté, Pour vos efforts et votre soutien paternel ainsi que votre générosité.

A ma chère mère

Les mots me manquent pour exprimer toute ma reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour mon bonheur et ma réussite. Que Dieu te protège et t'accorde-le bonheur, la santé et une longue vie. Pour votre grand amour, votre tendresse et vos longues prières qui m'ont été le meilleur gage de réussite, je vous offre ce modeste travail.

A mes Chers frères

A mes Chères sœurs

Spécifiquement ma petite adorée BASSMA

A mes grandes mères

Et à toute la famille BENICHOU

Et la famille GHAZI

Meriem



Remerciements

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient la gratitude, le respect, la reconnaissance....

Aussi, c'est tout simplement que....

Tous d'abord, je remercie mon Dieu à tout puissant qui m'a aidé et m'a donné la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail. Je remercie également mes parents, qui m'ont encouragé et motivé à atteindre ce niveau d'étude.

*Sincèrement je tiens à exprimer un remerciement le Co-encadreur **M. BENKHALIFA HICHAM** pour m'avoir accepté dans ce projet et son patience, son aide et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port. Sans oublier tous employés de **SONATRACH** région **RHOURDE NOUSS** et particulièrement le chef région par intérim **M. HEMMADI BACHIR** pour leurs orientations.*

*Ainsi que, je tiens à exprimer mon profonde gratitude à mon encadreur **M. SELADJI CHAKIB** pour sa disponibilité et son suivi avec compétence et gentillesse.*

Egalement j'assure mes respectueux remerciements à messieurs . les membres de jury pour acceptant de juger ce travail.

Je dois aussi mes remerciements à tous mes enseignants du département Génie mécanique des universités du Tlemcen et

Ouargla, qui m'ont fourni les informations et les aides nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Finallement, je tiens à remercier chaleureusement, tous mes amis tous mes proches, et tous ceux qui a contribué de près ou de loin pour accomplir ce Travail dans les meilleures conditions...

 **FATMA EL BATOUL**



Dédicaces

A cœur vaillant rien d'impossible

A conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la sollicitude et confiance et motivation

Tout devient facile pour arriver à nos fins....

Je dédie ce modeste travail

*A l'homme de ma vie, l'homme parfait dans la patience et la force, Ce qui grâce à lui je suis là, **mon cher père.***

*A le printemps de ma vie, la source de tendresse, **ma chère mère.***

***Mes chers parents,** Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*À l'âme de mes **grands-pères** et ma **grand-mère.** Que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel parade.*

*Aux personnes que je suis reconnaissant d'avoir dans ma vie, mes chères sœurs **Hiba Arrahmane** et **Israa Ikhlal**, Mes chers frères, **Massoud Abd Arrazik** et le petit prince **Salah Imad Eddine.***

*A ma chère binôme **BENICHOU MERIEM** qui ne cessé pas de m'encourager il y a pas des mots exprimez-lui mes remerciements*

et ma gratitude, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de contentement.

A ma très chère amie ma sœur de la vie HZZAM MARWA qui m'a assistée dans les moments difficile, je vous souhaitant des jours très heureuse.

A mes amies, mes collègue et à toute personne que j'ai rencontrée dans ma formation académique vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter. En témoignage des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.



ملخص

كجزء من هذا العمل، يتم إجراء تدقيق للطاقة داخل مرفق المعالجة المركزية لمنطقة غرد النص للشركة الصناعية سوناطراك، بهدف التوصل أخيرا إلى مقترحات مجدية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة للمعدات. تعتمد المنهجية المتبعة على اكتشاف تسربات الطاقة التي قد تظهر من خلال الاحتراق السيئ أو الممارسات كثيفة الاستهلاك للطاقة أو حتى فشل أدوات القياس. للقيام بذلك، تم تحليل بيانات المعدات المتدخلة في هدر الطاقة ودراساتها للتوصل الى حلول تقلل من استهلاكها. في نهاية هذا التقييم، يبدو أنه يمكن تحقيق توفير في الطاقة من خلال استثمارات معقولة على المدى المتوسط. **الكلمات المفتاحية:** مراجعة الطاقة، توفير الطاقة، استهلاك الطاقة، كفاءة الطاقة.

Abstract

In the scope of this work, an energy audit within the carried out at SONATRACH / DP / RHOURE NOUSS / CPF (Central Processing Facility), to improve the efficiency of structures and reduce energy consumption.

The methodology followed is based on the detection of energy leaks that can manifest themselves through poor combustion, energy-intensive practices or failures of measurement instruments. To do this, data on the equipment involved in the energy waste has been analyzed and studied to find solutions to reduce the energy consumption in the unit.

At the end of this evaluation, it appears that an energy saving can be achieved with reasonable investments over the medium term.

Keywords: Energy audit; Energy saving; energy consumption; energy efficiency.

Résumé

Dans le cadre de ce travail, un audit énergétique est effectué au niveau du SONATRACH/DP/RHOURE NOUSS/CPF (Central Processing Facility), visant pour enfin arriver à des propositions réalisables afin d'améliorer l'efficacité énergétique des équipements. La méthodologie suivie repose sur la détection des fuites de l'énergie pouvant se manifester à travers une mauvaise combustion, des pratiques énergivores ou encore des défaillances des instruments des mesures. Pour ce faire, Les données sur les équipements impliqués dans le gaspillage d'énergie ont été analysées et étudiées pour trouver des solutions permettant de réduire la consommation d'énergie dans l'unité.

A l'issue de cette évaluation, il en ressort qu'une économie d'énergie de l'ordre de réalisée avec des investissements raisonnables sur un moyen terme.

Les mots clés : L'audit Energétique ; L'économie d'énergie ; la consommation énergétique ; L'efficacité énergétique.

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclatures

Introduction générale 2

Chapitre -I-

Généralité sur le site de production-RNS

Introduction 5

I.1. Description de la société de SONATRACH 5

 I.1.1. Les activités de SONATRACH 6

 I.1.1.1. Activité E&P 6

I.2. Direction régional de Rhourde-Nouss (RNS) 9

 I.2.1. Situation géographique 9

 I.2.2. Présentation des différents complexes de la région 10

 I.2.2.1. La phase A 11

 I.2.2.2. Phase B G.P.L (Gaz de Pétrole Liquéfié) 11

 I.2.2.3.C.S.C (Centre de Séparation et de Compression) 11

 I.2.2.4. C.P.F (Central Processing Facility) 12

Conclusion 16

Chapitre -II-

L'état des lieux du marché de l'énergie en Algérie

Introduction 18

II.1. Etat des lieux du marché de l'énergie en Algérie 18

 II.1.1. Tendances énergétique nationales 18

 II.1.2. Evolution de la consommation énergétique nationale 19

 II.1.3. Consommation énergétique nationale par secteur 20

 II.1.4. Evolution de la production de l'électricité par type de centrales 21

| | |
|--|----|
| II.1.5. Distorsion du marché énergétique national | 21 |
| II.2. Plan national en EE et ENR | 23 |
| II.2.1. Programme national de développement de l'énergie renouvelable | 23 |
| II.2.2. Programme national d'efficacité énergétique | 26 |
| II.2.3. Les principes fondamentaux du développement des énergies renouvelable et de l'efficacité énergétique dans le contexte algérien | 28 |
| II.3. Cadre législatif et réglementaire | 30 |
| II.4. Obligations d'audit énergétique des établissements GCE | 33 |
| Conclusion | 34 |

Chapitre -III-

L'audit énergétique à l'industrie

| | |
|---|----|
| Introduction | 36 |
| III.1. Définition | 36 |
| III.2. Objectifs et principes généraux de l'audit énergétique | 36 |
| III.3. Méthodologie et différents phases de l'audit énergétique | 37 |
| III.3.1. Première phase : Analyse préalable | 37 |
| III.3.2. Deuxième phase : Analyse détaillé | 40 |
| III.3.3. Troisième phase : Recherche des solutions d'amélioration | 44 |
| III.4. Réduction du rapport | 46 |
| III.5. Les instruments pour l'audit énergétique | 47 |
| III.6. Documentation utile à l'auditeur | 48 |
| Conclusion | 51 |

Chapitre -IV-

Description des équipements audités d'unité CPF

| | |
|--|----|
| Introduction | 53 |
| IV.1. Généralité sur les Turbines à gaz | 53 |
| IV.1.1. Définition | 53 |
| IV.1.2. Classification des turbines à gaz | 54 |
| IV.1.2.1. Par le mode de construction | 54 |
| IV.1.2.2. Par le mode de travail | 55 |
| IV.1.2.3. Par la nature du cycle thermodynamique | 55 |
| IV.1.3. Type d'installation de turbine à gaz à CPF/RNS | 55 |
| IV.1.3.1. Présentation de la turbine à gaz SIEMENS SGT-400 | 56 |

| | |
|--|----|
| IV.1.3.2. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz SIEMENS SGT-400 | 57 |
| IV.2. Généralités sur les fours industriels | 59 |
| IV.2.1. Définition d'un four | 59 |
| IV.2.2. Constitution d'un four | 59 |
| IV.2.3. Différents types de four | 60 |
| IV.2.4. Type d'installation du four à CPF/RNS | 61 |
| IV.3. Généralités sur les transformateurs | 62 |
| IV.3.1. Définition | 62 |
| IV.3.2. Principaux éléments des transformateurs | 62 |
| IV.3.3. Principe de fonctionnement | 63 |
| IV.3.4. Type d'installation du transformateur à CPF/RNS | 64 |
| IV.4. Généralité sur les moteurs électriques | 66 |
| IV.4.1. Définition | 66 |
| IV.4.2. Les types des moteurs électriques | 66 |
| IV.4.3. Les composants d'un moteur électrique | 67 |
| IV.4.4. Principe de fonctionnement d'un moteur électrique | 69 |
| Conclusion | 69 |

Chapitre -V-

Audit énergétique de l'installation d'unité CPF

| | |
|---|----|
| Introduction | 71 |
| V.1. Energie thermique | 71 |
| V.1.1. Production de gaz de vente | 71 |
| V.1.2. Emission de gaz Torché | 72 |
| V.1.3. Analyse de la consommation du Fuel gaz | 72 |
| V.1.4. Energie calorifique consommée | 73 |
| V.1.5. Intensité Energétique de l'unité | 74 |
| V.1.6. Evolution de la consommation spécifique d'énergie | 74 |
| V.1.7. Visite des Installations et mode de consommation énergétique | 75 |
| V.1.7.1. Instrumentation et automation | 76 |
| V.1.7.2. Mesures et relevés des paramètres opératoires | 76 |
| V.1.7.3. Bilans massiques des installations | 76 |
| V.1.7.4. Bilans énergétiques des installations | 79 |

| | |
|--|-----|
| V.1.8. Calculs effectué des turbines à gaz en charge | 79 |
| V.1.9. Calculs effectué des fours | 87 |
| V.1.10. Présentation des bilans énergétiques | 89 |
| V.1.11. Recommandations d'économie d'énergie | 91 |
| V.1.12. Diminution de la consommation du fuel gaz des turbines | 91 |
| V.1.13. Optimisation de la combustion du Fuel gaz du Four | 91 |
| V. 1.14. Récupération calorifique des gaz d'échappement des turbines | 92 |
| V.1.14.1. Surchauffage d'air | 92 |
| V.1.14.2. Réchauffage du gaz de régénération de l'unité de déshydratation | 93 |
| V.1.14.3. Cogénération d'énergie électrique | 93 |
| V.1.15. Résumé des recommandations et économies d'énergie | 94 |
| V.2. Energie électrique | 95 |
| V.2.1. Alimentation en énergie électrique | 95 |
| V.2.2. Analyse de l'évolution de la consommation d'énergie | 100 |
| V.2.2.1. Compensation de l'énergie réactive | 100 |
| V.2.3. Analyse des puissances et des énergies | 101 |
| V.2.3.1. La Puissance Mise à Disposition (PMD) | 101 |
| V.2.3.2. La Puissance Maximale Appelée (PMA) | 101 |
| V.2.4. Analyse approfondie de la consommation électrique | 102 |
| V.2.5. Interprétation des mesures | 103 |
| V.2.6. Analyse harmonique | 106 |
| V.2.7. Bilan énergétique des transformateurs | 108 |
| V.2.8. Hypothèses de calcul sur la base de la facturation de SONELGAZ avec tarif moyenne tension « Tarif 44 » | 110 |
| V.2.9. Recommandation | 112 |
| V.2.10. L'utilisation des variateurs de vitesse | 113 |
| V.2.11. Résumé des recommandations et économies d'énergie | 116 |
| Conclusion | 116 |
| Conclusion générale | 117 |
| Bibliographie | |
| Webographie | |
| Annexes | |

Liste des figures

| | | |
|--------------------|--|----|
| Fig I.1 : | Situation des gisements d'huile et de gaz | 8 |
| Fig I.2 : | Situation géographique de la région de Rhourde Nouss (RNS) | 9 |
| Fig I.3 : | Schéma synoptique de la phase A, B, CSC et CPF | 10 |
| Fig I.4 : | Schéma bloc du CPF | 13 |
| Fig I.5 : | Schéma de procédé simplifié du CPF | 15 |
| Fig II.1 : | Tendances énergétiques nationales | 18 |
| Fig II.2 : | Taux de croissance de la demande énergétique | 19 |
| Fig II.3 : | Répartition de la consommation énergétique nationale par secteur 2017 (K TEP) | 20 |
| Fig II.4 : | Evolution de la production d'électricité par type de centrales | 21 |
| Fig II.5 : | Distorsion du marché énergétique national | 22 |
| Fig II.6 : | Répartition de la capacité installée à l'horizon 2030 | 23 |
| Fig II.7 : | Deux phases de développement du programme EnR | 24 |
| Fig II.8 : | Répartition des puissances du PNER | 25 |
| Fig II.9 : | Phase de déploiement du programme national de l'efficacité énergétique | 27 |
| Fig II.10 : | Objectifs du programme d'efficacité énergétique à l'horizon 2030 | 28 |
| Fig II.11 : | Les bénéfices de l'efficacité énergétique | 29 |
| Fig II.12 : | La conjugaison de l'énergie renouvelable à l'efficacité énergétique | 30 |
| Fig II.13 : | Les mécanismes prévus par le FNMEERC | 31 |
| Fig II.14 : | Les mécanismes de financement des programmes de l'efficacité énergétique par l'APRUE | 32 |
| Fig III.1 : | Illustration de quelques instruments de mesure | 48 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Fig III.2 : | Modèle d'un tableau des données de la consommation de fuel gaz de la région RNS années 2018 | 49 |
| Fig III.3 : | Modèle d'un tableau des données de la production années 2018 | 50 |
| Fig III.4 : | Modèle d'une mesure de la consommation électrique (du transformateur 50MTB-1.1A) | 50 |
| Fig III.5 : | Modèle d'une fiche technique (Four 40F01) | 51 |
| Fig IV.1 : | Schéma des principaux composants d'une turbine à gaz | 53 |
| Fig IV.2 : | Turbine à gaz à mono-arbre | 54 |
| Fig IV.3 : | Turbine à gaz à bi-arbres | 54 |
| Fig IV.4 : | Turbine à gaz SGT-400 | 57 |
| Fig IV.5 : | Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine | 58 |
| Fig IV.6 : | Schéma des principaux constituants d'un four | 60 |
| Fig IV.7 : | Schéma du four de régénération à unité CPF/RNS avec son procédé | 62 |
| Fig IV.8 : | Principaux éléments de transformateur de puissance | 63 |
| Fig IV.9 : | Circuits magnétiques et électriques liés | 64 |
| Fig IV.10 : | Schéma des deux transformateurs de puissance de 15 MVA avec leur plaque signalétique | 65 |
| Fig IV.11 : | Un moteur électrique | 66 |
| Fig IV.12 : | Les différentes composantes d'un moteur électrique | 68 |
| Fig V.1 : | Evolution de la production de gaz de vente | 71 |
| Fig V.2 : | Emission annuelle des gaz torchés | 72 |
| Fig V.3 : | Consommation annuelle du Fuel gaz | 73 |
| Fig V.4 : | Energie calorifique consommée du Fuel gaz | 73 |
| Fig V.5 : | Taux d'évolution de l'intensité énergétique | 74 |
| Fig V.6 : | La consommation spécifique d'énergie | 75 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Fig V.7 : | Evolution mensuelle de la CSE thermique 2019 | 75 |
| Fig V.8 : | Bilan massique de la Turbines à gaz Booster 1 | 77 |
| Fig V.9 : | Bilan massique de la Turbines à gaz de compression de gaz de vente | 77 |
| Fig V.10 : | Bilan massique Four d'huile caloporteuse | 78 |
| Fig V.11 : | Bilan massique Four de gaz de régénération | 78 |
| Fig V.12 : | Schéma simple d'une turbine à gaz à deux arbres | 80 |
| Fig V.13 : | Cycle thermodynamique simple d'une turbine à gaz à deux arbres Diagramme H-S | 80 |
| Fig V.14 : | Diagramme des flux de chaleur de la turbine booster | 89 |
| Fig V.15 : | Diagramme des flux de chaleur de la turbine gaz de vente | 89 |
| Fig V.16 : | Diagramme des flux de chaleur du four de régénération | 90 |
| Fig V.17 : | Diagramme des flux de chaleur du four d'huile caloporteuse | 90 |
| Fig V.18 : | Echangeur air-gaz échappement pour préchauffage d'air | 92 |
| Fig V.19 : | Cycle à vapeur d'eau pour la production d'énergie électrique | 93 |
| Fig V.20 : | Schéma unifilaire de l'alimentation électrique de l'unité CPF | 99 |
| Fig V.21 : | Évolution de l'énergie réactive | 101 |
| Fig V.22 : | Evolution de la PMA en fonction de la PMD (KW) – Années2018-2019 | 102 |
| Fig V.23 : | Consommation d'énergie active mensuelle des deux arrivées 30KV (CPF1 et CPF2) au cours des deux dernières années | 103 |
| Fig V.24 : | Consommation d'énergie réactive mensuelle des deux arrivées 30KV (CPF1 et CF2) 2019 | 103 |
| Fig V.25 : | La charge des deux arrivées (CPF1 et CPF2) par rapport à la consommation totale | 104 |
| Fig V.26 : | Analyse harmonique des courants | 107 |
| Fig V.27 : | Consommation d'énergie totale de pompe de circulation d'amine SULZER | 114 |
| Fig V.28 : | Consommation d'énergie totale de pompe de circulation d'huile Caloporteuse | 115 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----------------------|---|---------|
| Tableau II.1 : | Les obligations d'audit énergétique des établissements | 33 |
| Tableau V.1 : | Les données des calculs effectués des turbines à gaz | 79-80 |
| Tableau V.2 : | Les données des calculs effectués des fours | 87 |
| Tableau V.3 : | Résumé des recommandations et économies d'énergie | 94 |
| Tableau V.4 : | La charge des deux arrivées (CPF1 et CPF2) | 104 |
| Tableau V.5 : | La charge des transformateurs de chaque poste 58 | 105 |
| Tableau V.6 : | Les résultats des mesures au niveau des arrivées CPF1 et CPF2 | 108 |
| Tableau V.7 : | Caractéristiques nominales des transformateurs équivalents recueillis dans le catalogue MERLIN GERIN | 109-110 |
| Tableau V.8 : | Résumé des recommandations et économies d'énergie | 116 |

Abréviation /Nomenclatures

| | |
|--------|--|
| AE | Audit Energétique |
| APRUE | Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie |
| BP | Base pression |
| BTEX | Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes. Des composés organiques volatils mono-aromatiques |
| C1, C2 | Gaz sec |
| C5 | Condensat |
| CC | Moteur électrique à courant continu |
| CO2 | Le dioxyde de carbone |
| COM | Activité commercialisation |
| CPF | Central Processing Facility |
| CREG | Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz |
| CSC | Centre de traitement d'huile |
| CSP | Centrale solaire thermique |
| DLE | Dry low émissions |
| DP | Division production |
| EE | Pression inter étage |
| ENR | Energies Renouvelables |
| E&P | Activité exploration et production |
| FNMEER | Fonds national de maîtrise de l'énergie et pour l'énergie renouvelable et de la cogénération |
| GNC | Gaz naturel comprimé |
| GNL | Gaz naturel liquéfié |
| GPL | Gaz de pétrole liquéfié |
| HEH | Haoudh El Hamra |
| HP | Haut pression |

| | |
|-------|--|
| LRP | Activité liquéfaction, raffinage et pétrochimie |
| MEM | Ministère de l'énergie et des mines |
| MP | Moyen pression |
| PNME | Programme national de maîtrise de l'énergie |
| PV | Photovoltaïque |
| QH | Quarzite de Hamra |
| RNS | Rhourde Nous |
| SH | SHONATRACH |
| SPE | Groupe SONELGAZ |
| SKTM | Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (filère sonelgaz) |
| THD-I | Taux de courants harmoniques |
| THD-V | Taux de tension harmonique |
| TR | Transformateur |
| TRC | Activité transport par canalisation |
| USA | États-Unis d'Amérique |
| WHRSG | Waste heat recovery stream generation |
| WHRU | Waste heat recovery unit |

| | | |
|-----------------|---|----------------------|
| C | Cout | DA/an |
| Cp | Chaleur massique | KJ/kg k |
| CSE | Consommation spécifique d'énergie calorifique | kcal/Sm ³ |
| D _{fG} | Débit du fuel gaz | Kg/h |
| E | Consommation d'énergie calorifique | Tep |
| I | Intensité énergétique industrielle | Kcal/Sm ³ |
| P | Production finale de gaz de vente | Sm ³ |
| P | Pression | bar |
| P | Pertes actives | KW |

Nomenclatures

| | | |
|--------------------|--|----------------------|
| P_{eff} | la puissance effective | KW |
| P_c | Puissance absorbée par le compresseur axial | KW |
| PCI | Pouvoir calorifique inférieur | KJ/kg |
| PCS | Pouvoir calorifique supérieur | Kcal/Sm ³ |
| PMA | Puissance Maximale Appelée | KW |
| PMD | Puissance Mise à Disposition | KW |
| Q | La quantité de chaleur fournie au niveau de la chambre de combustion | KW |
| Q | Perte réactive | KVAr |
| q_m | Débit massique | Kg/S |
| T | Température | °K |
| S | L'enthalpie isentropique | KJ/KG |
| S_n | Puissance apparente | KVA |
| W_{isc} | Travail isentropique | KJ/Kg |
| W_r | Travail réel | KJ/Kg |
| η | Rendement | % |
| η_{th} | Rendement thermique | % |
| ΔP | La chute de pression | / |
| ΔP | Pertes d'énergie actives | KVAr |
| ΔQ | Pertes d'énergie réactives | KWh |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La maîtrise des dépenses énergétiques est de fait considérée comme un véritable levier de compétitivité pour les entreprises, tant sur le plan national qu'international. Avec l'augmentation des consommations énergétiques interviennent de plus en plus de façon significative dans les coûts de production des entreprises industrielles, pour cela la production est diminuée. Cette influence sur le coût et sur la diminution de production nous à forcer de trouver une méthode pour faire une production et consommation marchent en parallèle, et pour réaliser ce dernier must changez la politique énergétique et prenez des actions pour réduire la consommation énergétique, le changement commence par l'audit énergétique.

L'audit énergétique est une méthode d'évaluation des caractéristiques énergétiques d'un processus de production, il s'insère dans un plan global de gestion énergétique, il doit permettre d'élaborer un plan d'action global visant l'amélioration de l'efficacité énergétique pour une utilisation plus rationnelle d'énergie. Dans la même optique, le recours aux sources d'énergie renouvelables ou la cogénération constitue également une démarche d'efficacité énergétique, visant la maîtrise de la réduction de l'impact environnementale (réduction des gaz à effet de serre).

Notre objectif est d'identifier les équipements énergivores au niveau du SONATRACH/DP/RHOURDE NOUSS/CPF (Central Processing Facility), d'analyser toutes les données disponibles sur la consommation énergétique et les compléter si nécessaire par des mesures sur site pour enfin arriver à des propositions réalisables afin d'améliorer l'efficacité énergétique des équipements avec la mise en place d'une stratégie d'efficacité énergétique.

Notre étude comprend cinq chapitres, où nous allons présenter la société SONATRACH et son activité, en plus une description générale de la région de Rhourde-Nouss, sa situation géographique, une description de différentes structures, et quelques données statistiques dans le premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre on verra l'état des lieux du marché de l'énergie en Algérie et la consommation d'énergie par les différents secteurs, soit dans les systèmes de vie ou industriel.

Le troisième chapitre sera consacré à une description détaillée sur l'audit énergétique et sa méthodologie et les utilisations qui peuvent être utilisées dans l'étude.

Le quatrième chapitre consacré à une description générale pour les équipements de l'installation de site qui consommé l'énergie et leur fonctionnement.

Enfin dans le dernier chapitre, été analysée la consommation d'énergie de l'unité CPF en basant sur les conditions et les donnée réels des conditions afin d'évaluer l'efficacité énergétique, ainsi que d'identifier et déceler les principales contraintes qui ne permettent pas aux installations de fonctionner selon les critères de bonne économie d'énergie avec accès aux solutions pour récupère les pertes perdu

Chapitre -I-

GÉNÉRALITÉS SUR LE SITE DE PRODUCTION-RNS

Introduction

L'énergie occupe une place centrée dans le développement économique mondial, qui repose principalement sur l'évaluation des hydrocarbures (pétrole et gaz).

À travers ce chapitre, nous verrons une description de la société SONATRACH et ses différentes activités en plus une présentation générale du site de Rhourde Nouss, cette présentation nous fait également découvrir la description géographique du lieu, et les différentes usines de la région, notamment l'usine autour de laquelle s'articule notre étude.

I.1. Description de la société SONATRACH

SONATRACH (« Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures ») est une compagnie étatique Algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures.

Le groupe pétrolier et gazier est classé 1^{ère} en Afrique et 12^{ème} dans le monde en 2018. Créé le 31 décembre 1963, la compagnie intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés.

Elle est 4^{ème} exportateur mondial de GNL, 3^{ème} exportateur mondial de GPL et 5^{ème} exportateur de Gaz Naturel. Activités confondues, avec un chiffre d'affaires à l'exportation de plus de 63 milliards de US\$.

Adoptant une stratégie de diversification, SONATRACH se développe aussi bien dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière.

Pour suivant sa stratégie d'internationalisation, SONATRACH opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde : Afrique (Mali, Niger, Libye, Égypte), Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), Amérique Latine (Pérou) et USA.

Pour accélérer son programme de développement dans l'Exploration-Production, SONATRACH renforce sa politique de coopération avec de grands opérateurs pétroliers et gaziers étrangers. Le partenariat a toujours été un facteur clé dans l'essor de SONATRACH en Algérie et à travers le monde. Il participe à l'effort global de la compagnie d'explorer de nouveaux territoires et d'augmenter sa production en hydrocarbures. [1]

I.1.1. Les activités de SONATRACH

SONATRACH se compose de :

- Activité Exploration et Production (E&P) ;
- Activité Transport par Canalisation (TRC) ;
- Activité Liquéfaction, Raffinage et Pétrochimie (LRP) ;
- Activité Commercialisation (COM).

I.1.1.1. Activité E&P

Dans un contexte international marqué par la volatilité des prix des hydrocarbures et le maintien d'une demande soutenue, tant au niveau national qu'à l'international, SONATRACH s'attache à développer son activité Exploration-Production (EP). La compagnie continue de consacrer plus de 80 % de son budget annuel d'investissement à la recherche, le développement, l'exploitation et la production des hydrocarbures.

Pour accroître la découverte de nouveaux gisements, SONATRACH a décidé de consacrer 53 milliards de Dollars dans l'Exploration-Production sur la période 2017-2021 dont 9 milliards de Dollars à l'exploration (sismique 3D, forages d'explorations, études...). L'objectif est de parvenir à forer quelque 100 puits par an. Dans le cadre de sa stratégie de croissance SH2030, SONATRACH vise un doublement du volume annuel des découvertes et une augmentation des réserves prouvées de 50 à 100 millions de TEP par an.

L'activité Exploration-Production (EP) couvre les activités de recherche, d'exploration, de développement et de production d'hydrocarbures. Elles sont assurées par SONATRACH seule, ou en association avec d'autres compagnies pétrolières.

La nature des hydrocarbures dans chaque région se présente comme suit :

- Hassi Messaoud Dahar correspond à l'un des plus importants événements tectoniques du Sahara, elle renferme 71% des réserves de pétrole brut ;
- Oued Mya renferme 50% des réserves de gaz naturel ;
- Le bassin d'Illizi renferme autant de pétrole brut (15%) que de gaz naturel (14%) ;
- Rhourde Nouss et Berkine renferment 19% des réserves de gaz naturel et 8% de pétrole brut;
- Le bassin de l'Ahnet Timimoun, essentiellement paléozoïque, ne renferme que du gaz naturel (13%), dont la moitié est encore classée probable et possible.

A. Exploration

Selon le dernier bilan de l'entreprise dans le domaine d'exploration, le nombre de puits réalisés en effort propre pour l'huile et pour le gaz en 2018 se répartit comme suit :

- ✓ 13 découvertes d'huile : bassin d'Amguid Messaoud (4), bassin d'Oued Mya (3), Bassin de Berkine Est (2), bassin d'Illizi (2), bassin de Bechar Oued Namous (1) et bassin du Sud-Ouest Constantinois (1) ;
- ✓ 8 découvertes de gaz : bassin d'Ahnet Gourara (3), d'Ahnet Gourara (2), de Tindouf RegganeSbaa (1), bassin de Bechar Oued Namous (1) et bassin d'Illizi (1).
- ✓ 8 découvertes de gaz à condensat : bassin d'Oued Mya (3), bassin de Berkine (2), bassin d'Illizi (2), bassin de Tindouf RegganeSbaa (1).
- ✓ 2 découvertes huile et gaz : bassin de Berkine (1) et bassin d'Illizi (1).
- ✓ 1 découverte huile et gaz à condensât : bassin d'Oued Mya (1).

L'année 2018 a été marquée par l'achèvement de 25 campagnes sismiques : 11 campagnes 2D et 14 campagnes 3D, la totalité en effort propre, soit une acquisition sismique 2D d'ordre 11 733 Km, et 20 562 Km² en acquisition sismique 3D.

B. Forage

En effort propre, la compagnie nationale des hydrocarbures a ainsi livré 248 puits dont 77 puits en exploration et 171 puits de développement. En matière de forage d'exploration, le volume d'activité en termes de mètres forés a atteint un taux de 108 % à la fin de l'année 2018, soit 294 696 m dont 80 puits forés exploration en effort propre et 563 575 m en partenariat, en comparant à l'année 2013 le volume de forage a été de 384 330 mètres forés dont 364 424 m par SONATRACH seule et 18 906 m en partenariat.

C. Production des d'hydrocarbures

La production primaire d'hydrocarbures de l'année 2013 a atteint 186,9 millions de TEP. Elle est composée de 127,2 milliards m³ de gaz naturel, dont 84% au titre de la production opérés par SONATRACH seule, 49,4 millions de Tonnes de pétrole brut, 8,8 millions de Tonnes de condensat et 6,6 millions de Tonnes de GPL. Les apports des principales régions sont localisés à Hassi R'Mel, Hassi Messaoud et Rhourde Nous.

Comparant à la production primaire totale d'hydrocarbures réalisée durant l'année 2018 qui avoir une augmentation au chiffre de 192,28 millions TEP dont 25,2 % réalisés en association,

soit 48.46 millions Tonnes de pétrole brut dont l'association est de 20.74 millions Tonnes, et 132 milliards Sm³ de gaz naturel soit 107.9 milliards Sm³ en effort propre et 24.2 milliards Sm³, et 22.2 millions m³ de GNL.

Pleinement engagée dans la transition énergétique, SONATRACH mise aujourd'hui sur le développement du gaz et du solaire pour enrichir son mix énergétique et s'inscrire dans le cadre de la politique nationale de développement des énergies renouvelables. SONATRACH contribue à ce programme ambitieux, en visant la couverture d'ici 2030 de 80% des besoins énergétiques de ses sites pétroliers par des centrales solaires.

L'objectif est de réduire, de façon responsable et durable, la consommation d'hydrocarbures sur site et les émissions de gaz à effet de serre.

Le groupe compte se doter à terme, d'une capacité de production de l'ordre de 1,3 Gigawatts. SONATRACH permettra au pays, à travers sa contribution à ce programme, de réaliser une économie de près de 1.6 milliards de Sm³ de gaz destiné à la vente à l'horizon 2040. [2]

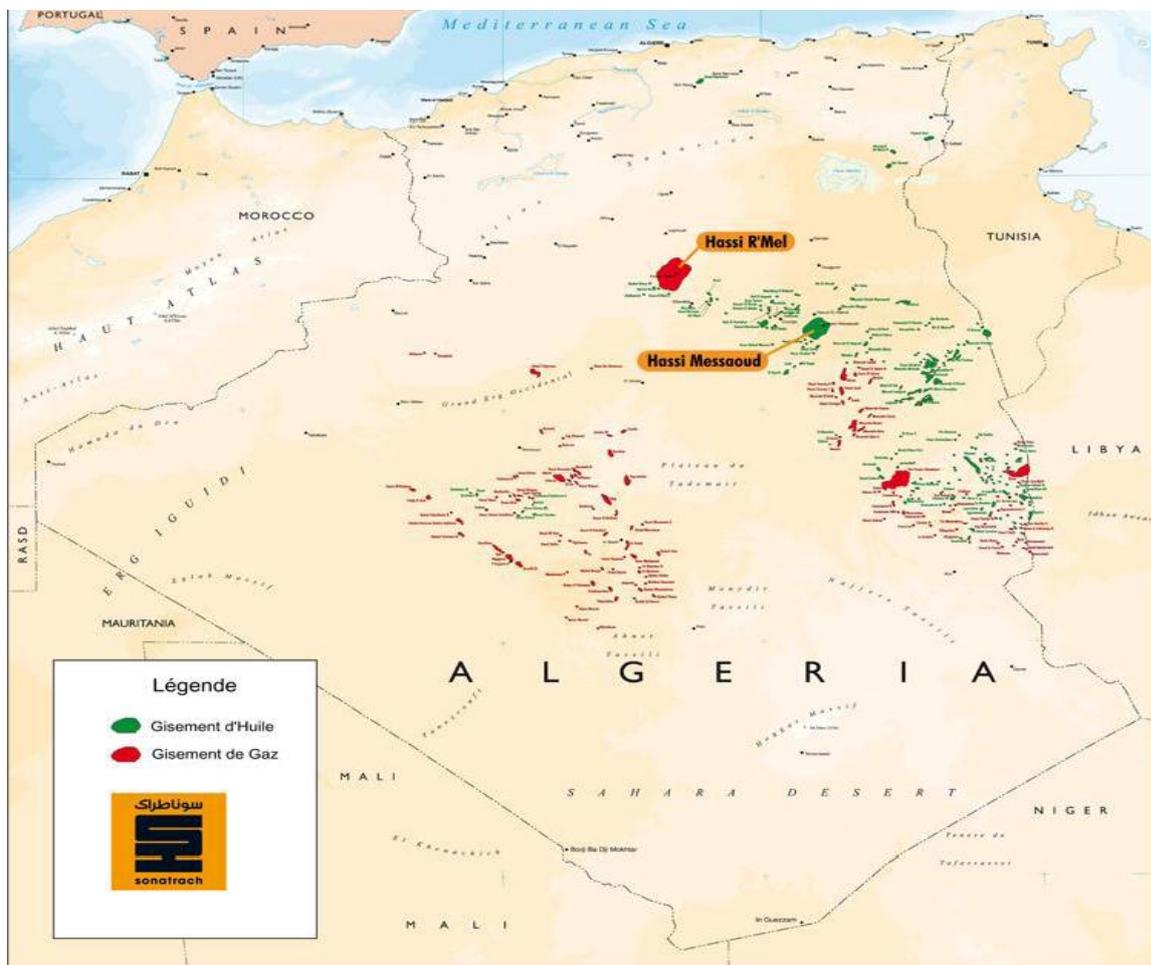


Fig. I.1 : Situation des gisements d'huile et de gaz

I.2. Direction régional de Rhourde Nous (RNS)

La division de production (DP) est l'une des très importantes structures de SONATRACH. Elle opère sur tous les champs du pétrole et du gaz. La direction régionale de 'RNS' Rhourde Nous est une structure de DP, qui réalise les projets de développement, d'exploitation et de traitement de gaz et brut de champ.

I.2.1. Situation géographique

La région de Rhourde Nous fait partie de la Willaya d'Ilizi. Elle est située à 350 Km au Sud/Sud-Est de Ouargla, à 1200 Km au Sud/Sud-Est d'Alger et à 270 Km au Sud/Sud-Est de Hassi Messaoud. La direction régionale de Rhourde Nous se trouve à la lisière de l'ERG Oriental avec une alternance de Hamada (ou Gassi) et d'ERG (ou Siouf) de direction généralement Nord/Sud.

- Elle est reliée à la route nationale N°03 (Ouargla-Ilizi) par une route de 30 Km ;
- L'altitude moyenne est située à 275 m par rapport au niveau de la mer ;
- Son climat est désertique (sec avec un très faible taux d'humidité) ;
- Ecart important de température entre l'hiver et l'été (-5°C à 50°C) ;
- Elle enregistre une pluviométrie très faible (2 à 4 mm/an) ;
- Fréquence importante des vents de sable.

La région de Rhourde Nous est composée de plusieurs champs (Gisements) sur un rayon de 100 Km par rapport au siège de la direction régionale qui est située dans le champ de Rhourde Nous centre.



Fig. I.2 : Situation géographique de la région de Rhourde Nous

La première découverte de gaz à Rhourde Nous a été en 1956. Le premier puits foré en 1962 a mis en évidence la présence de gaz riche en condensat au niveau de plusieurs réservoirs.

Après la découverte de l'huile, un centre de traitement d'huile a été construit et mis en exploitation en 1966. [3]

I.2.2. Présentation des différents complexes de la région

La région de Rhourde Nous est à vocation principalement gazière. Elle est dotée de :

- **La phase A** : Traitement de 51 millions Sm^3/j de gaz pour récupérer le condensat.
- **La phase B** : Traitement de 48.3 millions Sm^3/j de gaz naturel pour récupérer le GPL, et les traces du condensat.
- **CSC** : Un centre de traitement d'huile d'une capacité de 1058 Sm^3/j .
- **CPF** : Traitement de 10 millions Sm^3/j de gaz pour récupérer le condensat et diminuer le pourcentage de CO_2 .
- Une centrale électrique produit 21 MW de l'énergie propre pour la région.

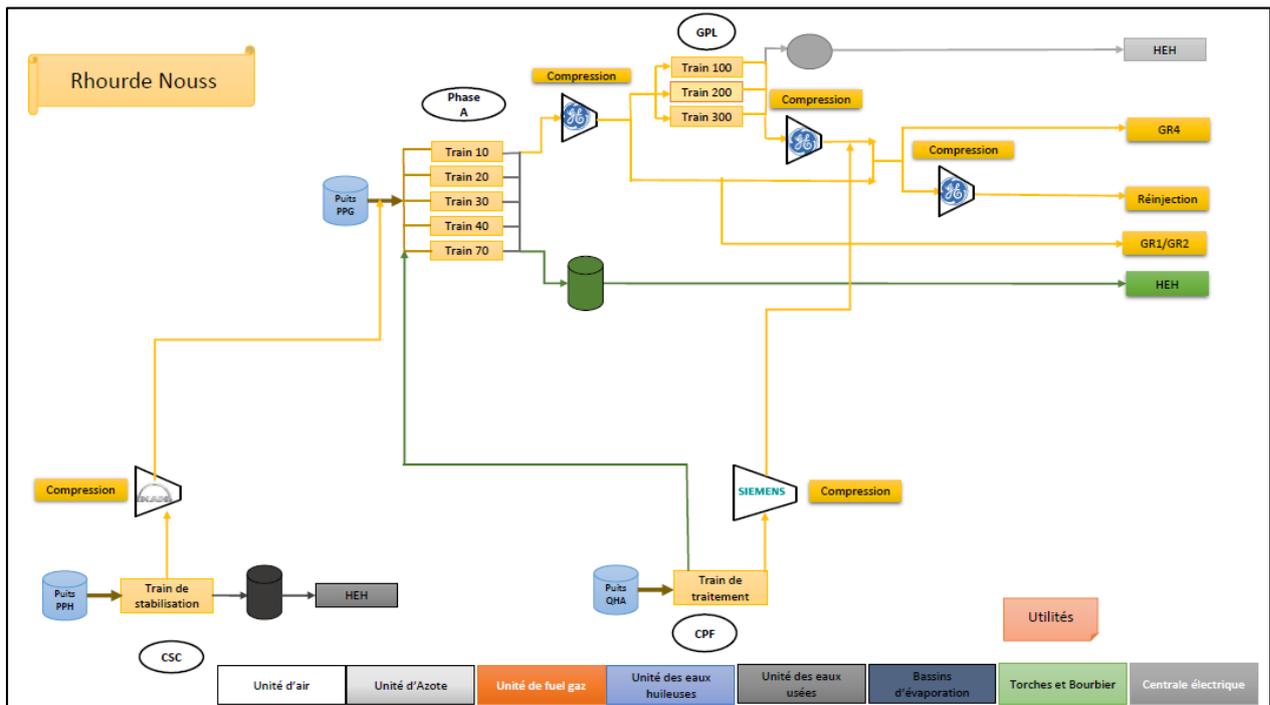


Fig. I.3 : Schéma synoptique des phases (A et B), CSC et CPF

I.2.2.1. La phase A

Le complexe de la phase A est installé pour traiter le gaz brut venant des puits producteurs au niveau des quatre trains identiques chacun comporte un ensemble des équipements (ballons séparateur, échangeurs, sécheurs ...) pour le but de : réaliser une bonne séparation afin de récupérer le maximum du condensat (c_{5+}), assurer la compression de gaz (partie HP) vers la phase B et le recyclage de gaz sec traité (c_1 et c_2) vers la réinjection et l'expédition. [4]

Le cinquième train (U-70) fait seulement le traitement de la partie haute pression «HP» de gaz brut. L'usine traite actuellement une charge de 43 millions Sm^3/j de gaz brut avec une production de 2690 T/j du condensat.

I.2.2.2. Phase B G.P.L (Gaz de Pétrole Liquéfié) [5]

Les installations de cette usine sont conçues pour récupérer le GPL contenus dans le gaz de vente produit par l'usine (phase A).

Le GPL produit est envoyé dans un pipeline vers Haoudh El Hamra (HEH), le condensat résultant du fractionnement est renvoyé vers stockage dans la phase A, et le gaz résiduaire est aussi renvoyé aux installations de la phase A pour être dirigé vers la vente ou la réinjection.

I.2.2.3.C.S.C (Centre de Séparation et de Compression)

Le centre de séparation et de compression (CSC) a pour but de séparer l'huile, l'eau et le gaz provenant des 33 puits. Ils sont regroupés suivant leur niveau de pression et sont connectés à trois séparateurs pour séparer le gaz et le condensat. Les gaz provenant de la ligne de tête des trois séparateurs de différentes pressions (MP, BP, TBP) sont comprimés dans le système de compression pour obtenir la pression de batterie à l'usine de gaz Rhourde-Nouss, qui est de 83 bars où ils sont acheminés. Les bruts récupérés au séparateur TBP sont expédiés au dessaleur de brut, et puis sont envoyés vers la colonne de stabilisation ; après le traitement, le brut dessalé et stabilisé provenant de la colonne est stocké dans le bac de stockage de brut avant son expédition vers Haoudh El Hamra (HEH). L'objectif prioritaire de cette installation est la production d'huile.

La capacité journalière du (CSC) d'après le design est de 1000 $m^3/jour$ pour le brut et de 8.7MMSCMD pour le gaz. [6]

I.2.2.4. C.P.F (Central Processing Facility) [7]

La nouvelle installation de Rhourde Nous indiquée par CPF (Central Processing Facility) de traitement de gaz de Quartzite de Hamra (QH) est conçue pour traiter 11 millions Sm³/jour de gaz (base sèche) provenant de 33 puits de production dans quatre (4) champs, dans la région de Rhourde-Nouss. L'usine a une production nominale de 10 millions Sm³/jour et produit du gaz résiduaire sec ayant un Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) entre 9 800 et 9 900 Kcal/Sm³ et un contenu de CO₂ inférieur à 2,0 % molaire. Le gaz d'exportation est envoyé vers le gazoduc GR4 du réseau de transport TRC.

A. Objectifs des installations

- Construire une usine pouvant traiter 10 millions Sm³/j de gaz brut.
- Produire un gaz de vente ayant :
 - Un pouvoir calorifique supérieur (PCS) entre 9800 et 9900 Kcal/Sm³.
 - Une teneur en CO₂ inférieure à 2 mol%.
 - Une pression de 94 barg à la jonction des 36 pouces.
 - Teneur en eau inférieure à 1 ppmv
- Condensat non stabilisé à diriger vers la phase A.
- Gaz (associé) lourd à diriger vers la phase A.

B. Les différentes sections de l'unité CPF(QH)

Le CPF est subdivisé en six (6) sections :

- la séparation du mélange multiphasique (Slug Catcher).
- le traitement du gaz.
- la combustion de BTEX avec CO₂ à 900°C puis vers l'atmosphère.
- le prétraitement du condensat instable.
- le traitement de l'eau produite (désuilage).
- les utilités.

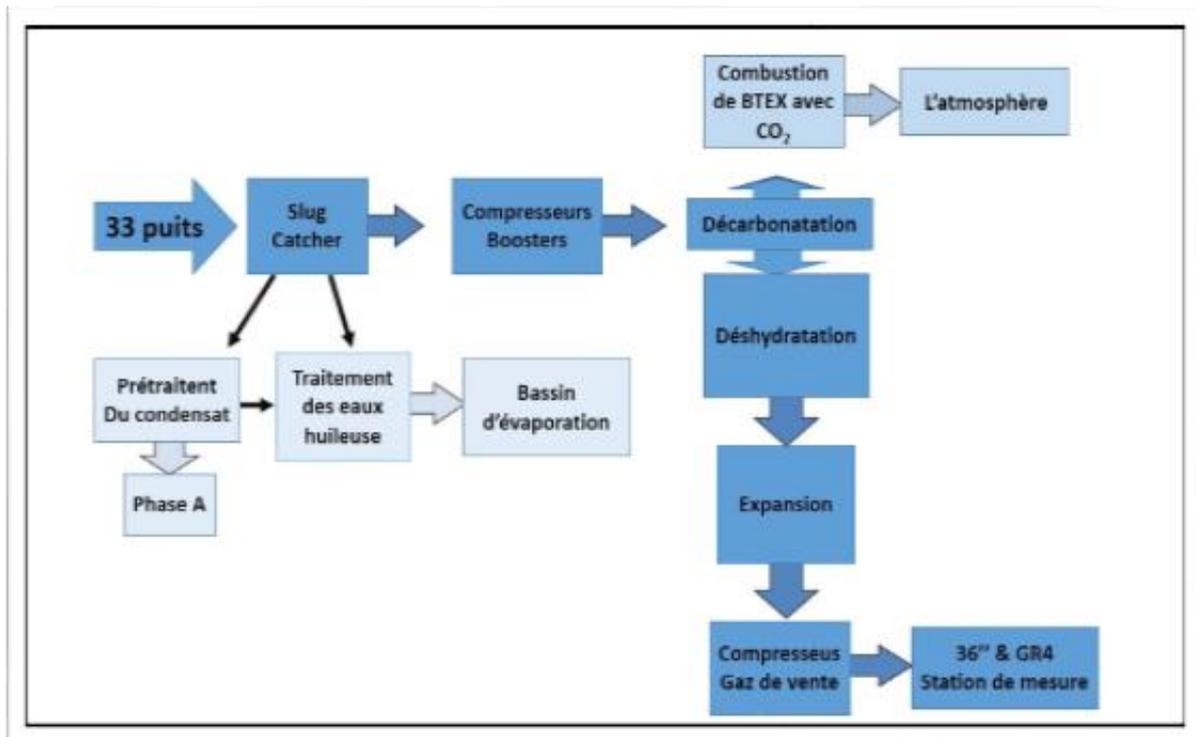


Fig. I.4 : Schéma bloc du CPF

C. Description générale du procédé de CPF(QH)

Le mélange multiphasique de gaz, condensat et eau provenant du réseau de collecte de gaz qui raccorde les puits dans le champ de Rhourde Nouss QH à la nouvelle usine CPF entre dans le slug catcher de l'usine à une pression opérationnelle normale d'environ 40 barg, à une température d'environ 50 °C et contenant jusqu'à 8,6 % molaire de CO₂. Dans le slug-catcher, le gaz est séparé du condensat et de l'eau libre.

À l'intérieur de l'installation de traitement, le gaz est comprimé par des compresseurs booster (2 x 50%) jusqu'à 85 barg et passe à travers une unité de décarbonatation (Acid Gas Removal Unit ou AGRU) afin de réduire le contenu de CO₂ à moins de 2,0 % molaire.

Le gaz sortant de l'unité AGRU, qui est saturé en eau, passe à travers une unité de déshydratation sur tamis moléculaires afin de réduire son humidité à moins de 1,0 ppm en volume.

Le gaz sec passe ensuite à travers une unité d'expansion où le condensat du gaz est séparé grâce à l'effet de refroidissement causée par l'expansion isentropique. Ce processus permet de corriger, selon les besoins, le pouvoir calorifique du gaz. Après

cela, le gaz décarbonaté sec est comprimé à 96 barg et refroidi à 60°C avant d'être mélangé au gaz de retour de l'usine GPL. Le gaz sortant de la nouvelle installation de traitement, soit 8,6 millions Sm³/jour, est mélangé avec le gaz d'exportation produit dans les installations existantes de Rhourde Nouss, soit 49 millions Sm³/jour aux conditions de conception. Une partie du mélange, soit 34 millions Sm³/jour, est envoyé vers le gazoduc GR4 du réseau national par un nouveau pipeline d'expédition. Ce nouveau pipeline de 28" comprend une station de comptage fiscale.

Le CO₂ extrait du gaz par l'unité de décarbonatation est envoyée avec le BTEX vers l'incinérateur pour la combustion de BTEX avec CO₂ à 900°C puis vers l'atmosphère.

Le condensat instable, à un débit de conception de 145 m³/h (110 m³/h nominal aux conditions d'opérations), est récupéré du gaz humide entrant dans l'usine et est déshydraté à moins de 0,1 % volume avant d'être envoyé aux installations existantes de l'usine phase A pour la stabilisation.

Les eaux huileuses produites sont envoyées vers une unité de traitement pour être traitées conformément aux exigences de qualité de SONATRACH, soit moins de 10 mg/L d'huile libre et d'huile en suspension dans l'eau, avant d'être envoyées dans un bassin d'évaporation. La capacité de traitement est de 500 m³/jour.

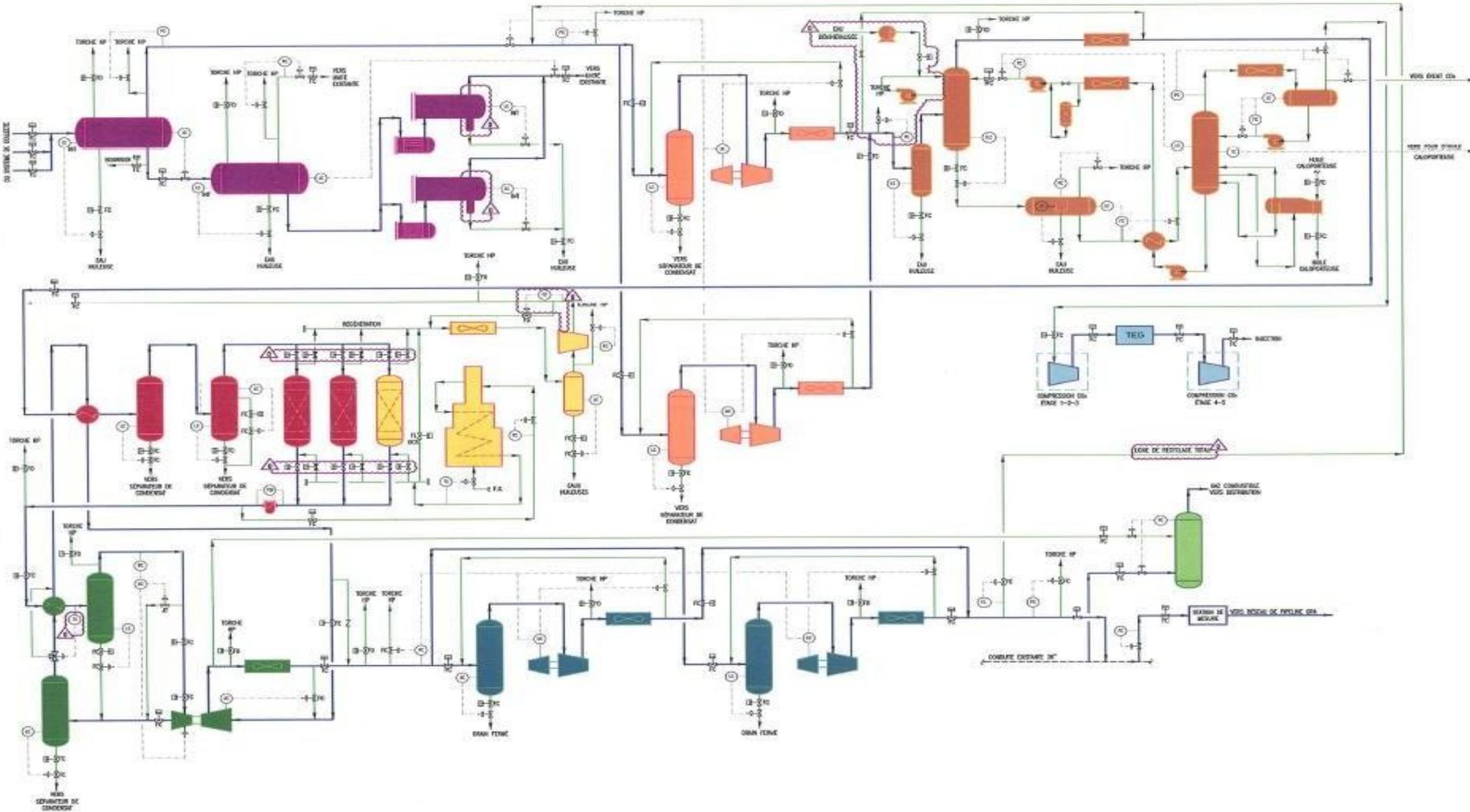


Fig. I.5 : Schéma de procédé simplifié du CPF [7]

Conclusion

Nous avons vu à travers ce chapitre une description de la société SONATRACH et ses différentes activités également, la présentation du site de production de la région de Rhourde Nous. Ainsi que nous avons également évoqué les différents complexes de cette région au fur et à mesure que nous nous sommes familiarisés avec le site sur lequel cette étude a été menée.

Chapitre -II-

ÉTAT DES LIEUX DU MARCHÉ DE L'ÉNERGIE EN ALGÉRIE

Introduction

Le secteur de l'énergie en Algérie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie. En cette période, l'un des problèmes majeurs de l'humanité est d'allier l'énergie, le respect de l'environnement et le développement économique, en particulier dans le Sud.

Dans cette perspective, de grandes batailles doivent être menées au cours des siècles pour la survie de la planète : faire de l'efficacité énergétique une priorité de la politique internationale, réduire les émissions de gaz à effet de serre, économiser l'énergie pour le développement économique. L'Algérie a inscrit sa stratégie énergétique dans le cadre du développement durable en intégrant la promotion des énergies renouvelables. Dans le contexte de la prise de conscience mondiale sur le changement climatique et vers un avenir durable et économique.

Dans ce chapitre, nous souhaitons présenter et expliquer quelques données sur l'état des lieux du marché de l'énergie ainsi la production et la consommation en Algérie.

II.1. État des lieux du marché de l'énergie en Algérie

II.1.1. Tendances énergétiques nationales

L'Algérie est un acteur énergétique majeur dans la région. Bien que la production énergétique permette de couvrir la consommation nationale et exporter une part conséquente ; l'évolution de la consommation nationale risquerait à termes de compromettre notre capacité d'exportation.

En effet, le graphique ci-dessous permet d'avoir un aperçu sur l'évolution de la production nationale et les différents postes de consommations nationaux.

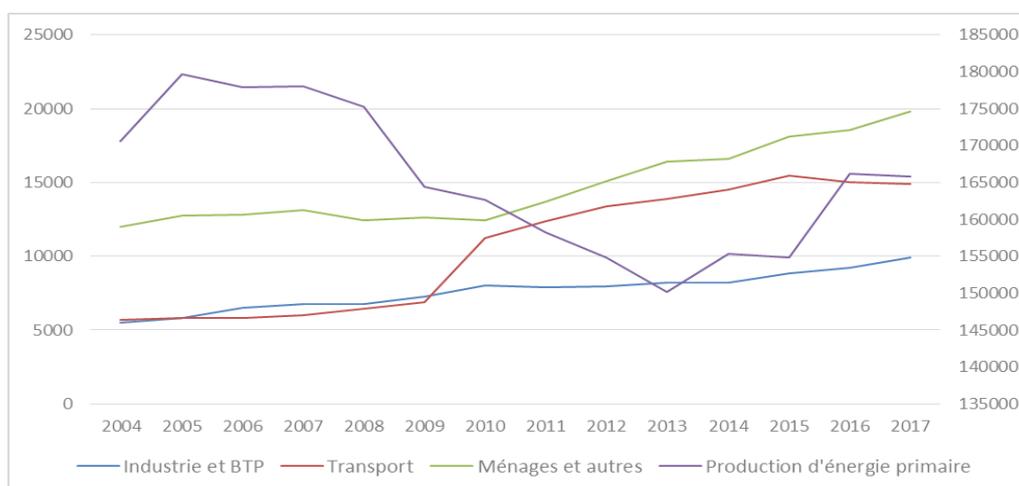


Fig. II.1 : Tendances énergétiques nationales [8]

II.1.2. Évolution de la consommation énergétique nationale

La consommation énergétique nationale a évolué au rythme de la croissance économique et du niveau de vie moyen. L'évolution des modes de consommation et d'habitudes alimentaires durant ces dernières années ont entraîné un accroissement de la consommation nationale.

D'un côté la consommation énergétique nationale a connu un accroissement rapide durant la dernière décennie. Les taux de croissance enregistrés durant la décennie passée ont été plus importants, comparés à ceux connus des périodes précédentes (voir graphique ci-dessous). Si bien, qu'après avoir enregistré des taux avoisinant les 5 % sur une période de trois années consécutives (depuis 2009) ; la croissance de la demande énergétique nationale a atteint près de 11 % en 2012. Un niveau que nous n'avons pas observé depuis 1983.

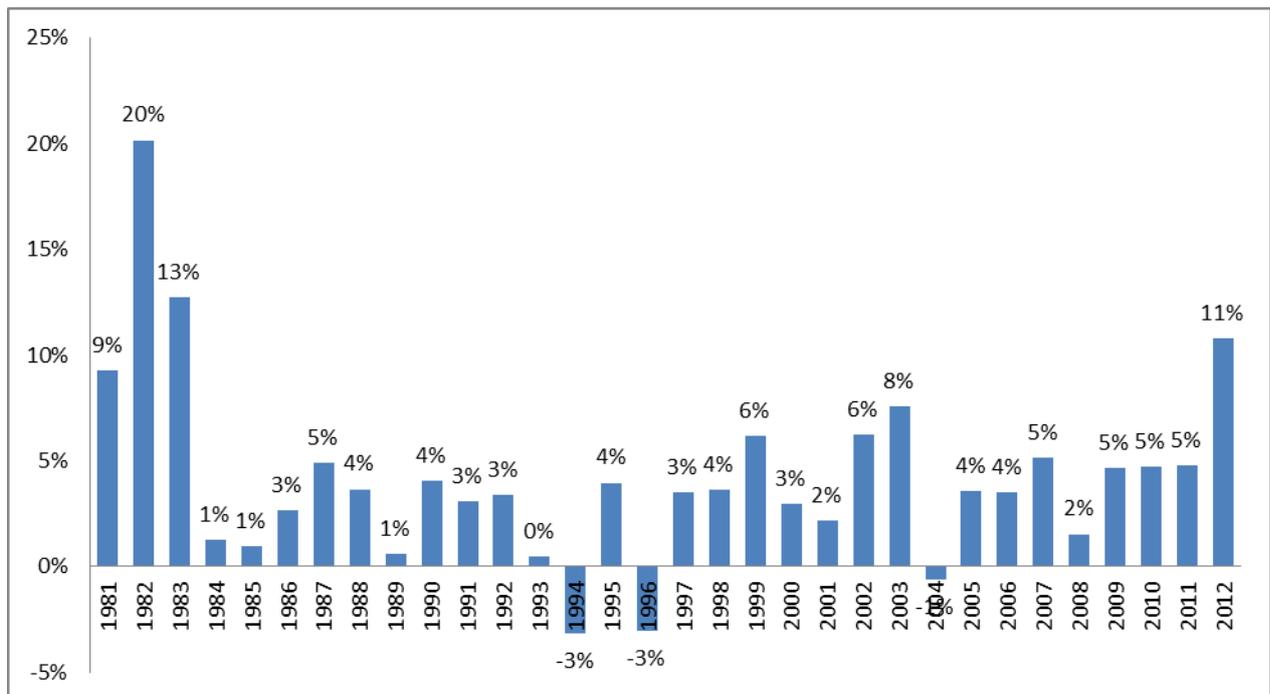


Fig. II.2 : Taux de croissance de la demande énergétique [9]

Par ailleurs, les importations totales d'énergie ont eux aussi atteints des niveaux record ces dernières années. En 2009, la barrière des 2000 K TEP a été franchie pour la première fois. Dans le dernier bilan énergétique national publié par le ministère de l'énergie et des mines (MEM) en 2013, la croissance des importations affiche une augmentation de 91,5 % en 2012 atteignant les 5532 K TEP. Bien que les importations ont été réduite depuis 2013, mais elles restent à un niveau relativement élevé. En 2017, les importations énergétiques se sont élevées à 4189 K TEP.

II.1.3. Consommation énergétique nationale par secteur

Le marché de l'énergie algérien se caractérise par la domination de la consommation des ménages par rapport aux autres secteurs. En effet, la consommation énergétique des ménages représente près de 44 % de la consommation nationale. En seconde position, le transport avec 33 %, et enfin l'industrie 22 %.

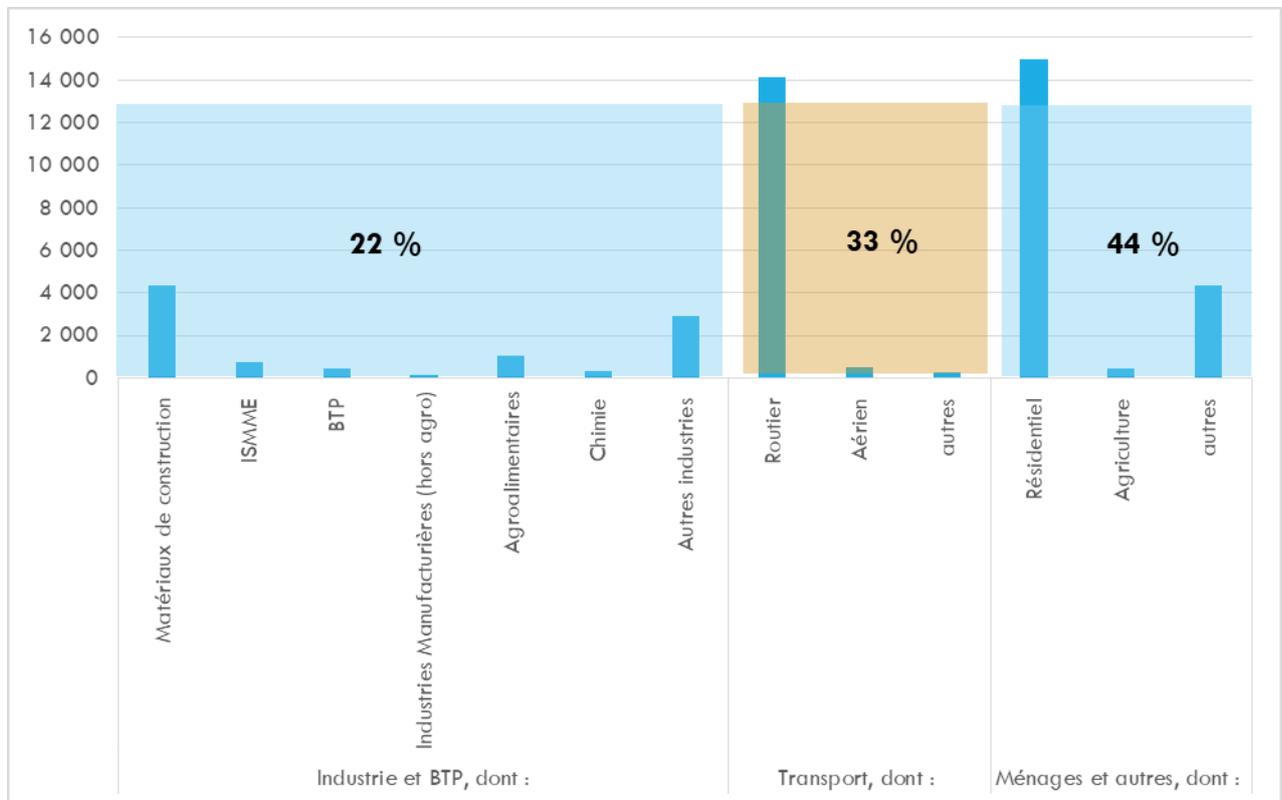


Fig. II.3: Répartition de la consommation énergétique nationale par secteur 2017(K TEP)[10]

Les énergétiques des deux secteurs représentés en bleu dans le graphique ci-dessus, sont soit en gaz naturel ou bien issu de gaz naturel, si ces derniers sont utilisés comme électricité. Ainsi, on peut considérer que 66 % des besoins énergétiques nationaux sont assurés par le gaz naturel.

II.1.4. Évolution de la production de l'électricité par type de centrales

Jusqu'à la fin des années 1990, le parc de production nationale était dominé par les centrales thermiques à vapeur [11]. A partir de 2002, le parc des centrales à gaz se développe, notamment avec la mise en service de nouvelles installations [12]. En 2007, et pour la première fois, des centrales à cycle combiné entrent activement en service [13].

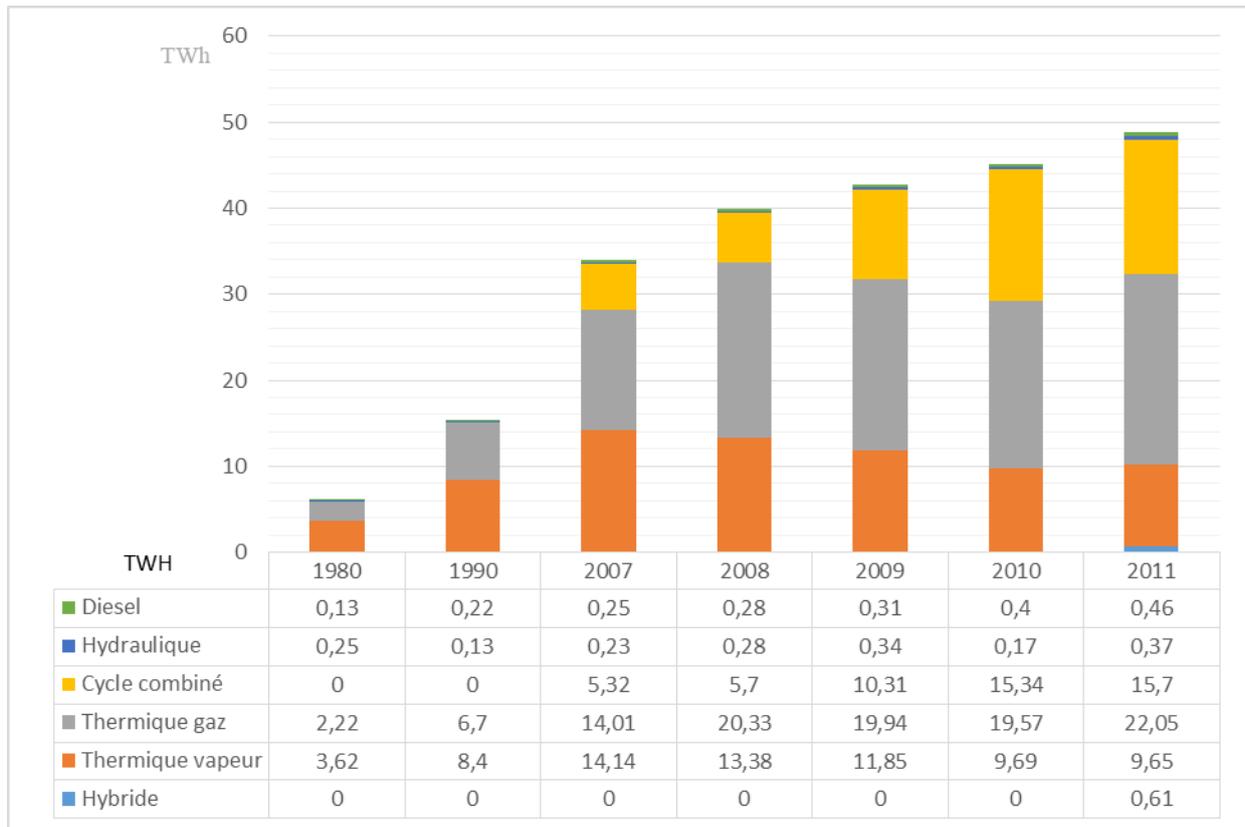


Fig. II.4 : Évolution de la production d'électricité par type de centrales [13]

Par ailleurs, il est à noter qu'à partir de 2007 une partie de la production d'électricité est assurée par des tiers indépendants. Jusque-là seul Sonelgaz (SPE) assurait la production d'électricité en Algérie.

Outre l'accroissement de la production d'électricité, le graphique ci-dessus illustre les changements opérés dans le paysage de production d'électricité en Algérie survenus ces dix dernières années. En effet, alors que la production était exclusivement assurée par deux types de centrales électriques (des turbines à gaz et des turbines à vapeur). On remarque que depuis 2007 les centrales à cycle combiné s'imposent de plus en plus dans le panorama électrique.

L'évolution du parc de production permet d'accroître la productivité de l'appareil productif national, ainsi que son efficacité énergétique.

II.1.5. Distorsion du marché énergétique national

L'offre énergétique nationale reste considérable, et ce même à l'échelle internationale. L'Algérie dispose encore de réserves en hydrocarbures, cependant de toute évidence les gisements les plus faciles d'accès ont été déjà exploités. Bien que plusieurs publications

fassent état de réserves importantes en hydrocarbures, l'accroissement de la production énergétique national est de plus en plus coûteux.

De l'autre côté la demande énergétique nationale a considérablement évolué durant ces deux dernières décennies. Elle est passée de 34941 K TEP en 2004 à 59600 K TEP en 2017. (Ces données ne prennent pas en considération les importations énergétiques). En 2014, la consommation énergétique moyenne s'élevait à 1 321 Kg équivalent pétrole par habitant (BM, 2015).

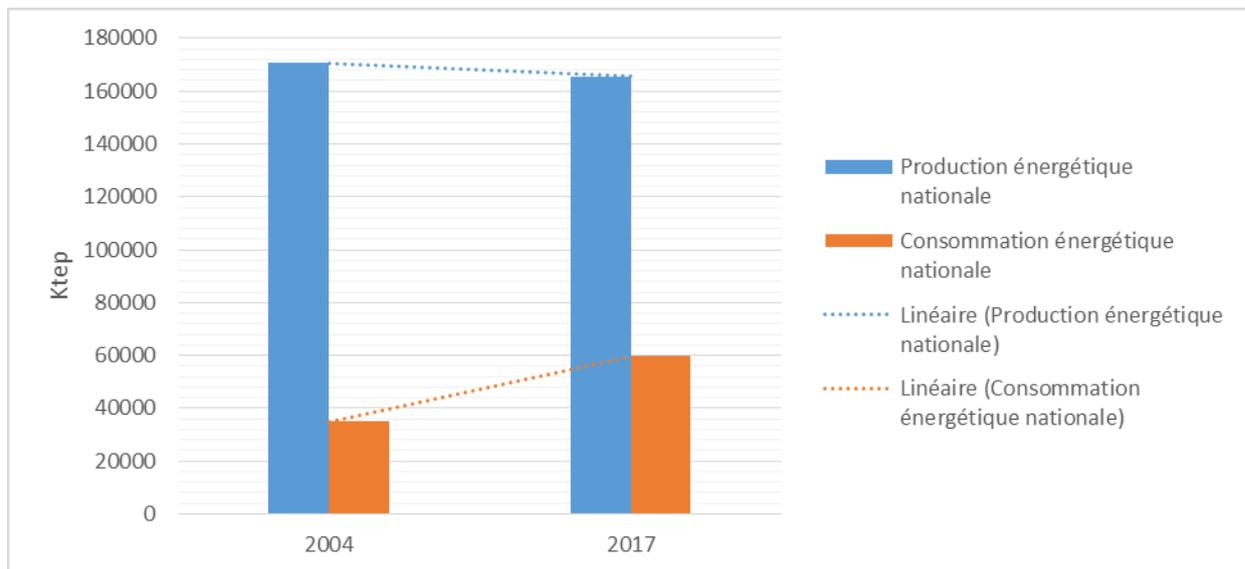


Fig. II.5 : Distorsion du marché énergétique national [8]

De ces deux évolutions découle la distorsion du marché énergétique algérien. Comme nous le montre ce graphique, la quantité d'énergie disponible à l'exportation tend à se réduire.

A priori la marge en termes d'approvisionnement énergétique national reste confortable. Cependant, cette situation est inquiétante pour au moins deux raisons : la première, est que l'économie nationale est très largement dépendante des revenus issus des exportations d'hydrocarbures. La réduction des exportations, revient à baisser les revenus indispensables aux équilibres économiques nationaux. La seconde, concerne l'approvisionnement national. En effet, sachant que l'offre énergétique nationale étant soutenue financièrement. Tout accroissement de la consommation énergétique nationale, augmente mécaniquement la facture économique du soutien à la consommation domestique.

C'est dans ce contexte que les programmes de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ont été développés. Ces derniers permettent d'optimiser la

consommation énergétique, mais aussi de répondre aux dispositions du marché énergétique national.

La section qui suit aborde ces programmes, et leurs bénéfices notamment économiques dans le contexte national.

II.2. Plan national en EE et ENR

II.2.1. Programme National de Développement des Energies Renouvelables

C'est dans les perspectives de préservation des ressources fossiles, de diversifications des filières de production de l'électricité et de développement durable, que l'Algérie s'engage dans le développement des énergies renouvelables.

Un premier programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique a été adopté en 2011. « *Ce programme a connu une première phase consacrée à la réalisation de projets pilotes et de tests des différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et ont conduit à la révision de ce programme.* ».[14]

En février 2015, un nouveau programme national de développement des énergies renouvelables a été adopté. Ce dernier prévoit d'atteindre une capacité de production d'énergie renouvelable de 22 GW à l'horizon de 2030, qui devrait représenter près de 27 % de la production nationale de l'électricité.

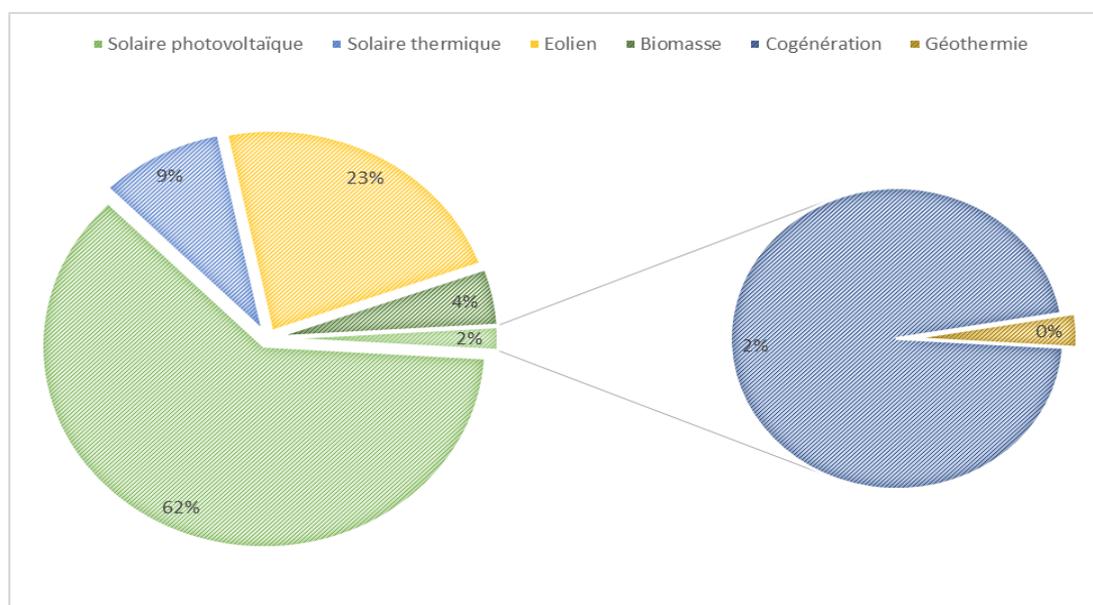


Fig. II.6 : Répartition de la capacité installée à l'horizon 2030 [14]

Conscient du potentiel solaire, ce programme dédie plus de 71 % aux technologies solaires. Les technologies photovoltaïques devront s'acquitter de 62 % de ce programme. Cette part s'explique essentiellement par la maturité des technologies et l'affaissement des coûts – les coûts globaux de ces technologies ont connu une baisse significative ces dernières années.

D'autre part, les technologies solaires thermiques ne sont plus une priorité dans ce programme des énergies renouvelables, la maturité technologique n'a pas été encore pleinement atteinte, et le coût élevé des installations, ont amené à la réduction de la part de cette filière à 9 % du programme à l'horizon 2030 et le report de son développement à 2021.

Avec une part de 23 % du programme, l'énergie éolienne représente désormais la seconde priorité dans la course au développement algérien des énergies renouvelables. La biomasse participera à hauteur de 4 % dans ce programme. Dorénavant la bioénergie fait partie du mix énergétique algérien. La géothermie devra quant à elle, participer à hauteur de 15 MW d'ici 2030. Enfin, dans une perspective d'efficacité énergétique et d'optimisation de la production d'énergie, une capacité de 400 MW est réservée à une énergie produite en cogénération.

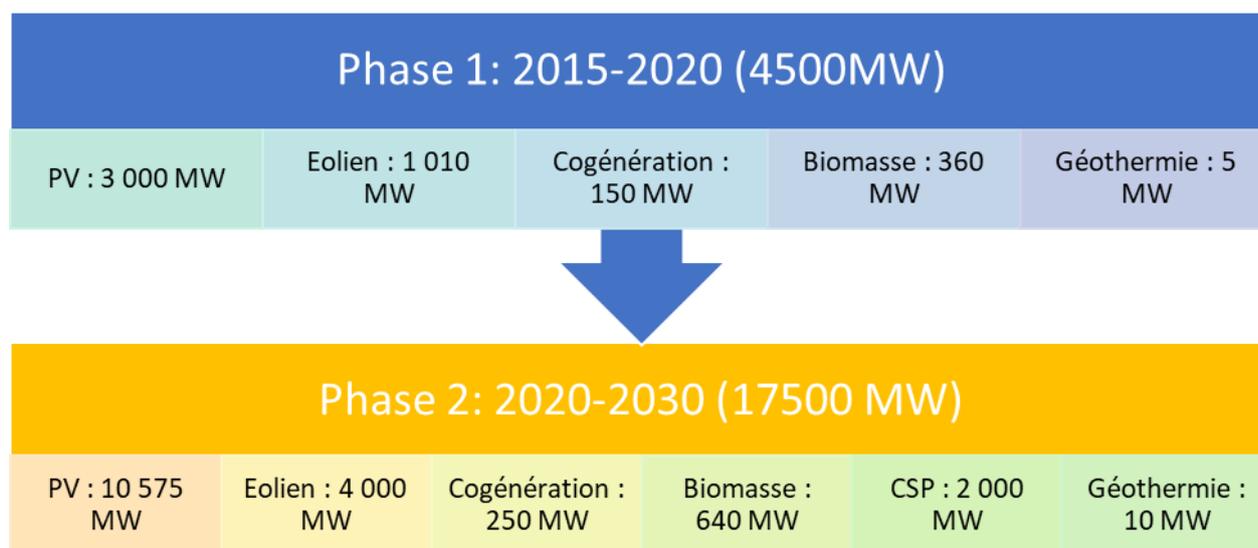


Fig. II.7 : Deux phases de développement du programme ENR [15]

Il est aussi précisé que ce programme sera développé en deux phases. La première qui devrait prendre fin en 2020 verra 4500 MW de capacité installée. L'essentiel concernera les installations photovoltaïques avec 3000 MW et l'éolien avec 1010 MW. Le reste des capacités plus modeste concernent la cogénération avec 150 MW, la biomasse 360 MW et enfin la géothermie 5 MW.

La seconde phase prévue à partir de 2020, intègre la technologie solaire thermique (CSP), et devrait atteindre les 22 000 MW de capacité à l'horizon 2030. Les capacités à installer prévues pour cette période sont : 10575 MW PV, 4000 MW éolien, 250 cogénération, 640 MW biomasse, 2000 CSP (solaire thermique), et 10 MW géothermie.

Selon l'annonce faite par les autorités concernées, la réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part des énergies renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité. Le volume de gaz naturel épargné par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalent à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014.

Le déploiement de ce programme prévoit plusieurs applications, particulièrement pour les technologies photovoltaïques et éoliennes. En effet, comme le montre le graphique ci-dessous, bien que la majorité de la capacité photovoltaïque et éolienne prévue dans le PNER soit réservée pour le « *connecté au réseau* », d'autres applications sont prévues.

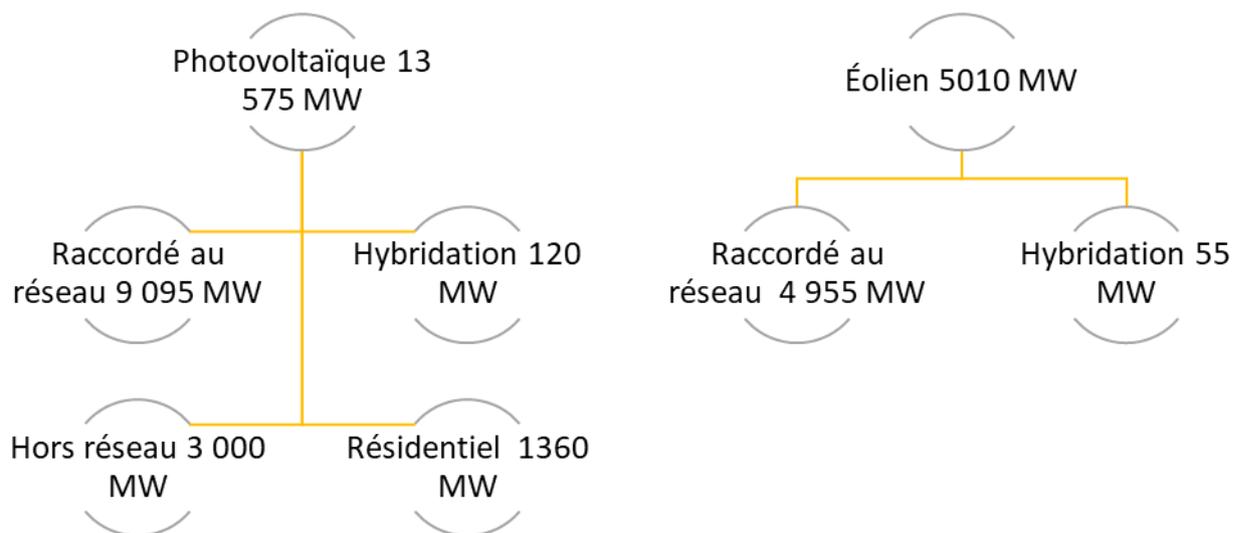


Fig. II.8 : Répartition des puissances du PNER [15]

Concernant les installations photovoltaïques, l'hybridation (avec des sources conventionnelles) devrait représenter 120 MW. Dans ce cadre la SKTM, a lancé un appel d'offre de 50 MW de centrales photovoltaïques fin 2018, pour l'hybridation des unités de production d'électricité au Sud (essentiellement Diesel). Le hors réseau (Off-grid) représentera à terme 3000 MW.

Cela concerne ce qu'on appelle aussi les systèmes autonomes. Cependant peuvent être aussi, considéré dans cette catégorie des systèmes hybrides ex : pompage solaire et diesel. Enfin, les applications de PV dites résidentielles devraient représenter 1360 MW. Cette dernière application consiste à l'installation de mini centrale au niveau des bâtiments résidentiels ou administratifs. Ces installations peuvent être des systèmes autonomes, ou connectés au réseau. Par ailleurs, 55 MW d'éolien sont prévus en hybridation.

II.2.2. Programme National d'Efficacité Energétique (APRUE)

L'efficacité énergétique est désormais une composante essentielle des politiques énergétiques à travers le monde. En effet, celle-ci est indispensable pour la réussite de la transition énergétique, de la lutte contre le réchauffement climatique, et le développement durable. Autant d'objectifs, inscrits dans la liste des objectifs millénaires pour le développement à l'horizon 2030. (ONU, 2016).

Aussi, la mise en place du nouveau programme d'efficacité énergétique national est d'autant plus importante, que les bénéfices économiques avérés de l'efficacité énergétique au niveau international, le sont plus encore dans les conditions économiques et énergétiques de l'Algérie.

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie.

- **Pour le secteur du bâtiment**

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030.

- **Pour le secteur des transports**

Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLc et le GNc : l'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants et de contribuer à réduire la part du gasoil, en plus des retombées bénéfiques sur la santé et l'environnement. Ceci se traduirait par une économie, d'ici 2030, de plus de 15 millions de TEP.

- **Pour le secteur de l'industrie**

Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété dans leurs consommations énergétiques. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à s'accroître à la faveur de la relance de ce secteur. Pour ce secteur, c'est plus de 34 millions de TEP qui seront économisées.



Fig. II.9 : Phase de déploiement du programme national de l'efficacité énergétique

Plusieurs projets ont été réalisés ces dernières années qu'on pourrait considérer comme des projets pilotes. Le déploiement du programme d'efficacité énergétique se déploie timidement. L'année 2018 a été marquée par plusieurs appels d'offres qui devraient donner de la consistance à ce programme.

Lors d'une conférence sur l'efficacité énergétique dans les collectivités locales, un membre de l'APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie) avait insisté sur le rôle des collectivités locales. En plus de réduire la consommation énergétique de ces dernières, celles-ci devraient constituer un vecteur de communication important pour sensibiliser les citoyens aux bonnes pratiques énergétiques. Aussi, les cibles prioritaires ont été présentées comme suit :

- Eclairage public : Diagnostic du réseau d'éclairage public, remplacement des lampes et de luminaires (LED), installation de système de gestion de l'éclairage, recours aux ENR pour l'extension de réseau et les nouveaux, réseaux d'éclairage public ;
- Écoles : Remplacement des lampes par des lampes LED, installation de CES dans les cantines ;
- Mosquées et bâtiments administratifs : Remplacement des lampes par des lampes LED, installation de CES dans les mosquées, installation de systèmes centralisés de chauffage et de climatisation ;
- Collecte des déchets ménagers : promouvoir le tri sélectif des déchets, valorisation des déchets, privilégier l'intercommunalité ;
- Flottes de véhicules : recours à l'utilisation du GPL/c.

Le programme devrait permettre à terme améliorer notre ratio de consommation énergétique. Les objectifs visés sont : la réduction de 30 millions de TEP, 200 millions de t CO₂ eq, et la création de 180 000 emplois.

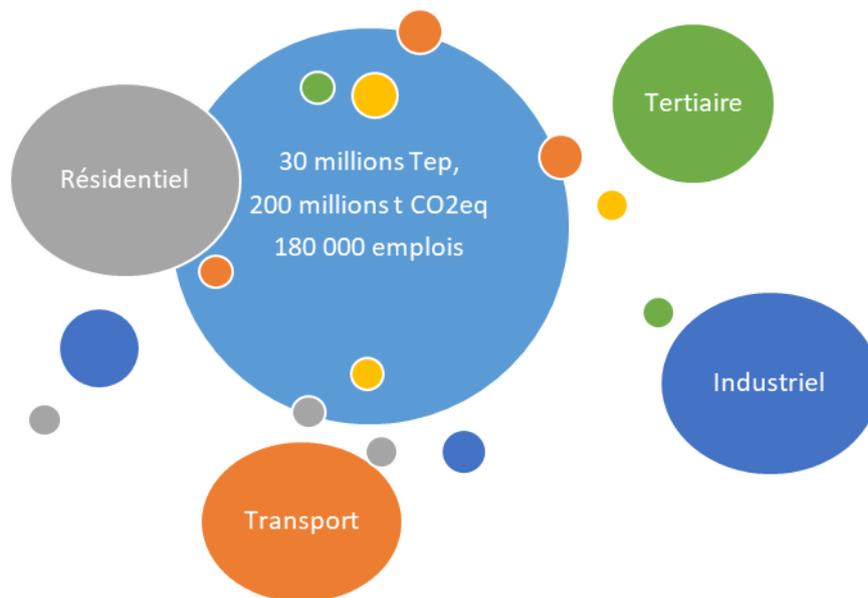


Fig. II.10 : Objectifs du programme d'efficacité énergétique à l'horizon 2030 [16]

II.2.3. Les principes fondamentaux du développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le contexte algérien

L'Algérie est un pays exportateur net d'énergie, et les revenus des exportations énergétiques sont vitaux (du moins actuellement) pour l'équilibre socioéconomique national. C'est dans ce

contexte que l'évaluation économique, de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, devrait prendre en considération ces paramètres.

Ailleurs dans le monde – notamment dans les pays importateurs net d'énergie, l'efficacité énergétique, et les énergies renouvelables, permettent de réduire la facture de production, ou d'importation d'énergie. Tandis qu'en Algérie, elle permet d'accroître les revenus issus de l'exportation. Les représentations ci-dessous permettent de schématiser le raisonnement.

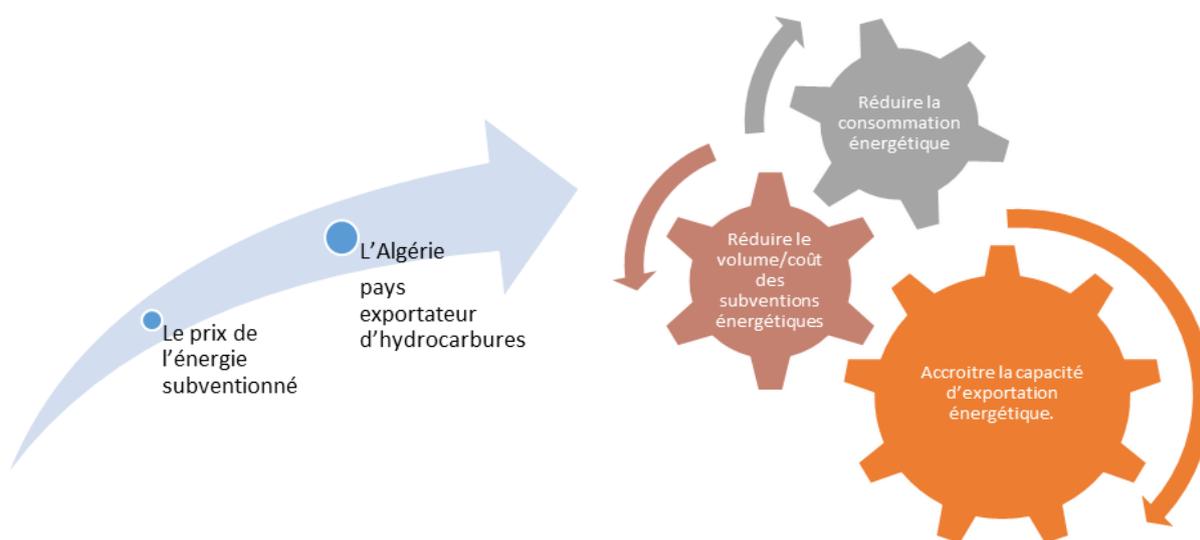


Fig. II.11 : Les bénéfices de l'efficacité énergétique

Dans une étude récente, le Fonds Monétaire International, a évalué les subventions annuelles au secteur de l'énergie et de l'eau à 15 % du PIB national. Ce qui revient à un montant équivalant à environ 20 Mrd \$ US/an.

Ainsi, l'efficacité énergétique est source de trois bénéfices : Réduction de la facture énergétique nationale, et des subventions liées subvention à cette consommation ; et enfin l'accroissement des revenus liés à l'exportation.

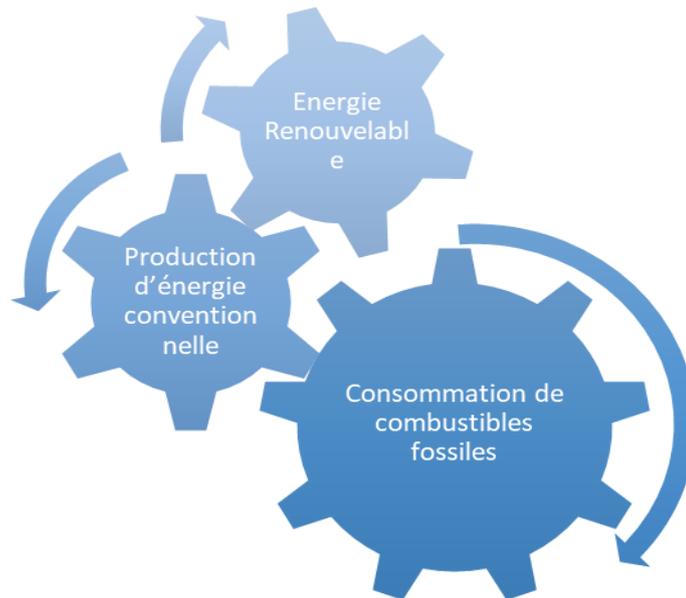


Fig. II.12 : La conjugaison de l'énergie renouvelable à l'efficacité énergétique

De la même manière, les énergies renouvelables permettent de produire de l'énergie à partir de sources renouvelables, réduisant ainsi de solliciter les centrales thermiques. Ces dernières réduisent leur consommation de combustible – c'est-à-dire du gaz naturel, et donc accroissent la disponibilité de ce dernier pour l'exportation.

Somme toute, la considération des aspects économiques des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique doit être adaptée aux conditions économiques nationales. La conjugaison des énergies renouvelables à l'efficacité énergétique permettra la refonte du système énergétique national. D'autant plus que le potentiel des énergies renouvelables est très important, comme nous allons le voir dans la section qui suit.

II.3. Cadre législatif et réglementaire [17]

Nous reprenons dans cette partie, les communiqués l'organisme chargé par la gestion du programme national de l'efficacité énergétique.

Pour les systèmes autonomes des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique sont à priori géré par l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE).

Dans le nouveau dispositif pour le soutien à l'efficacité énergétique date de la fin de 2016. Les textes juridiques sortis durant cette année, clarifient l'application des mesures prises au paravent.

Le Fonds National de Maîtrise de l'Energie et pour les Energies Renouvelables et de la Cogénération (FNMEERC) permet de soutenir les investissements pour les investissements dans la perspective d'amélioration de l'efficacité énergétique.

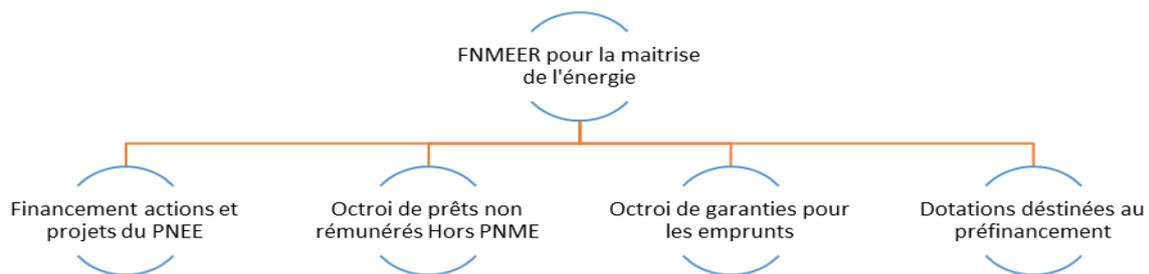


Fig. II.13 : Les mécanismes prévus par le FNMEERC

Les avantages accordés financiers prévus sont les suivants

- Financement à hauteur de 80% du coût induisant par l'introduction de l'isolation thermique dans le secteur du bâtiment ;
- Financement à hauteur de 50% du prix de référence (300 DA) de la lampe performante 150 DA/lampe ;
- Financement à hauteur de 100% du coût de la lampe destinée à l'éclairage public (1000 DA/lampe) ;
- Financement à hauteur de 45% du prix de référence du chauffe-eau solaire (60 000 DA) soit 27 000 DA/CES ;
- Financement à hauteur de 100% du surcoût par rapport à un Bus diesel soit 10 millions de DA/Bus ;
- Financement à hauteur de 50% du prix de référence de la conversion (150 000 DA) soit 75 000 DA/Conversion ;
- Financement des projets pour le secteur de l'industrie de 10 à 30% selon le projet ;
- Financement des opérations d'audits énergétique à hauteur de 70 % sur un montant de référence (1 million de Dinars).

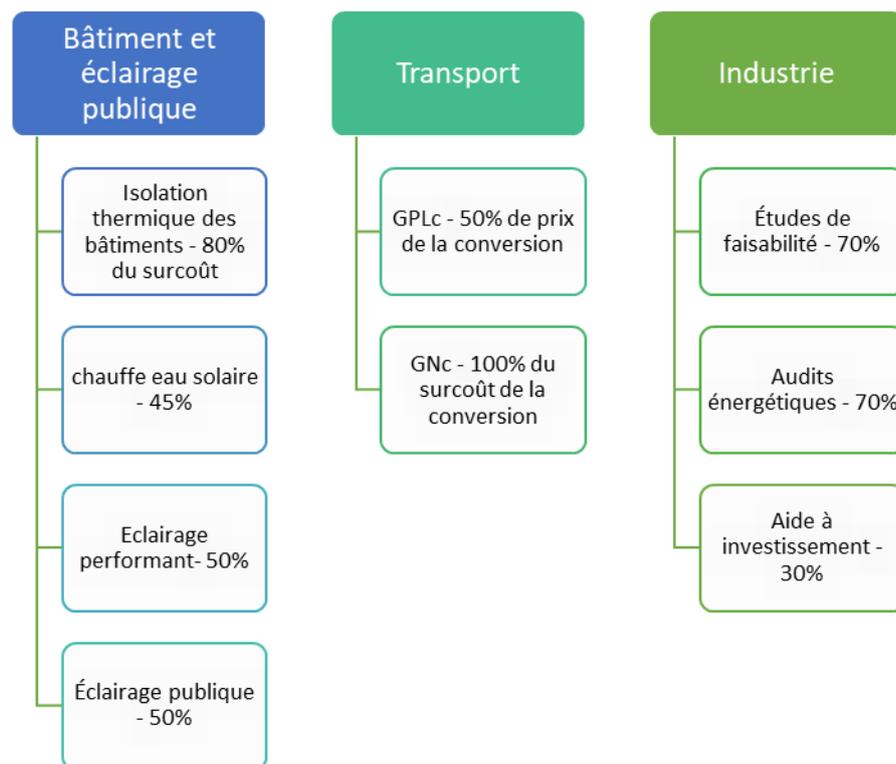


Fig. II.14 : Les mécanismes de financement des programmes de l'efficacité énergétique par l'APRUE

Cadre législatif d'efficacité énergétique

- Loi n° 99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie (en cours d'amendement) ;
- Loi n° 04-09 du 14 Août 2004 relatives à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durables ;
- Décret n°04-149 du 19 Mai 2004 portant sur les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) ;
- Décret n°2000-116 du 29 Mai 2000 portant sur les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n°302-101 intitulé " Fonds national pour la maîtrise de l'énergie " ;
- Décret n°85-235 du 25 Août 1985 portant sur la création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'énergie ;
- Décret n°04-314 du 25 Septembre 2004 complétant le décret n°85-235 du 25 août 1985, modifié et complète, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie ;

- Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 portant sur les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers ;
- Décret exécutif n° 13-424 du 18 Décembre 2013 complétant et modifiant le décret exécutif n°05-495 du 26 Décembre 2005, relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie ;
- Arrêté interministériel du 6 juillet 2005 portant sur les modalités du suivi et de l'évaluation du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulés " Fonds national pour la maîtrise de l'énergie " ;
- Arrêté du 7 mai 2012 portant nomination des membres du Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Energie ;
- Arrêté interministériel du 07 Octobre 2012 modifiant l'arrêté interministériel du 17 Septembre 2000 portant nomenclature des recettes et des dépenses imputables sur le compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé " Fonds national pour la maîtrise de l'énergie " ;
- Arrêté du 23 mars 2011 modifiant et complétant l'arrêté du 21 mai 2007 portant désignation des membres du conseil d'administration de l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) ;
- Arrêté interministériel du 19 juin 2014 modifiant et complétant l'arrêté interministériel du 29 septembre 2010 portant sur les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation ainsi que les modalités d'agrément des auditeurs.

II.4. Obligations d'audit énergétique des établissements

| Type d'établissement | Seuil de consommation fixé TEP/an | Périodicité tous les (Art 18) |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Industriels (Art 11) | Sup 2000 | 03 ans |
| Transport (Art 12) | Sup 1000 | 03 ans |
| Tertiaire (Art 13) | Sup 500 | 05 ans |

Tableau II.1 : Les obligations d'audit énergétique des établissements

Les établissements assujettis sont tenus de se déclarer à l'APRUE et de lui remettre le rapport d'audit et sa synthèse (Art16et19).

- **Contenu du rapport d'audit (Art 6)**

- 1 – Une analyse de chaque secteur de consommation et des opérations significatives ;
- 2 – Une évaluation des évolutions des consommations et des émissions polluantes ;
- 3 - Une présentation des gisements éventuels ;
- 4 - Une présentation des réductions des émissions polluantes ;
- 5 – Les recommandations avec un plan d'actions correctives.

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre le vrai problème que nous vivons, C'est ainsi que l'énergie consommée est gravement gaspillée.

L'analyse de l'APRUE montre que la demande énergétique va fortement augmenter d'ici 2020.

Nous devons changer la politique économique et prendre des mesures pour réduire la consommation énergétique, le changement commence par l'audit énergétique.

Chapitre-III-

L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE À L'INDUSTRIE

Introduction

L'énergie ne peut être économisée que si on connaît où et comment elle est utilisée et quand et, où son efficacité peut être améliorée, d'où la nécessité de recourir à un audit énergétique.

L'audit énergétique qui est un élément d'un programme d'efficacité énergétique, est entrepris dans le but d'élaborer un bilan de la situation énergétique globale de l'établissement, de quantifier les potentiels d'économies d'énergie et de définir les actions nécessaires à la réalisation de ces économies. [18]

Pour répondre à ce souci, ce chapitre est conçu de manière à donner les bases essentielles des différentes phases dans la réalisation d'un audit énergétique. Il décrit une approche organisée et une méthodologie dans la conduite de l'audit pour l'identification des gisements d'amélioration potentiels de l'efficacité énergétique. Le programme d'amélioration de l'efficacité énergétique découlant de l'audit énergétique doit constituer un éclairage important au responsable de l'établissement sur les investissements en efficacité énergétique sur les trois aspects : rentabilité, économie d'énergie et impact environnemental.

III.1. Définition

On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements d'un établissement.

Cet examen a pour but de parvenir à une utilisation rationnelle de l'énergie, en analysant où, pourquoi, comment, combien et quand on consomme de l'énergie, l'audit fournit des indications permettant de savoir où et comment des mesures d'économie d'énergie, et par conséquent de frais, peuvent être appliquées, où et comment une récupération d'énergie est possible ou une conversion à d'autres sources d'énergie, alternatives ou non.[18]

III.2. Objectifs et principes généraux de l'audit énergétique

Le but de l'audit est de formuler un certain nombre de propositions de mesures concrètes justifiées du point de vue de l'économie de l'établissement, pour parvenir à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. L'application de ces mesures doit toutefois faire partie d'une stratégie systématique et logique. L'audit ne peut donc rester une action isolée, mais il doit s'insérer dans un plan global de gestion énergétique. L'économie d'énergie doit également être un souci constant des gestionnaires de l'établissement. [18]

L'audit énergétique couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de [19] :

- l'utilisation rationnelle de l'énergie couvre l'action d'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production d'énergie, de la transformation d'énergie et de la consommation finale dans les secteurs de l'industrie ;
- le développement des énergies renouvelables, vise l'introduction et la promotion des filières de transformation des énergies renouvelables exploitables, notamment l'énergie solaire, la géothermie, (la biomasse), l'électricité hydraulique et l'énergie éolienne ;
- la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement consiste en la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des gaz d'échappement en milieu urbain.

Les préconisations de l'audit sont classées en trois catégories [20] :

- Actions immédiates permettant une économie sans nécessiter d'investissements ;
- Actions prioritaires à mener à court terme ;
- Actions utiles à mettre en œuvre car de rentabilité certaine mais pouvant être différées du fait d'implications sur le fonctionnement de l'entreprise ;

Les établissements industriels dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 2000 Tonnes équivalent pétrole (TEP) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique. [21]

La périodicité de l'audit énergétique est fixée à trois (3) ans pour les établissements industriels. [22]

III.3. Méthodologie et différentes phases de l'audit énergétique [23]

III.3.1. Première phase : Analyse préalable

1. Déroulement

Cette étape se déroule en quatre étapes :

A. Préparation de l'audit avec le responsable de l'établissement

L'auditeur adresse au responsable de l'établissement la liste des documents à fournir lors de la réunion d'enclenchement. Cette liste comprend :

- Un plan-masse du site, un descriptif des installations «utilités» et «procédés», des schémas et modes de fonctionnement, les moyens existant de suivi, de comptages et de mesures de l'énergie ;
- Les données de production, les relevés des compteurs, les contrats et factures d'énergie, les consommations d'énergie détaillées ;
- Les études déjà réalisées dans le domaine énergétique, les projets d'investissements.

B. Collecte d'informations sur site

Lors de la réunion d'enclenchement avec l'auditeur, le responsable de l'établissement remet les documents demandés, fait une présentation générale du site comprenant une description de l'organisation et des procédés mis en œuvre et planifie le déroulement de la visite et des entretiens.

La visite des installations «utilités» et «procédés» permet d'investiguer de manière qualitative les postes consommateurs d'énergie. Des relevés et quelques mesures ponctuelles peuvent être réalisés.

Les entretiens avec les différents acteurs du site permettent de comprendre le fonctionnement technique et le mode d'exploitation des installations.

C. Analyse des données et rédaction du rapport préliminaire

A l'issue de la visite et des entretiens, l'auditeur traite les données, et rédige le rapport comprenant le bilan de la situation énergétique du site et un programme d'action.

D. Présentation du rapport préliminaire

L'analyse préalable est présentée et discutée avec le responsable de l'établissement. La restitution orale est l'occasion pour le responsable de l'établissement et l'auditeur d'échanger leurs points de vue pour permettre au responsable de l'établissement de décider des suites à donner.

Pour le bon déroulement de l'audit, il convient que le responsable de l'établissement désigne un interlocuteur chargé du suivi de l'audit. Cette personne met en relation l'auditeur avec les personnes concernées par l'achat, la production et l'utilisation de l'énergie.

2. Approche méthodologique de la première phase

Les éléments méthodologiques concernent l'analyse des données et l'identification des gisements d'économies :

A. Analyse des données

Il s'agit :

- de réaliser une première approche du bilan énergétique du site, à partir des factures énergétiques et des volumes de production ;
- d'établir les ratios des consommations énergétiques par unité représentative ;
- d'estimer la répartition des consommations énergétiques, à partir des relevés de compteurs divisionnaires ou à partir des puissances installées et des temps de fonctionnement.

En fonction des données disponibles, des ratios complémentaires peuvent être calculés (consommations spécifiques et de la distribution des utilités, des procédés, etc.).

Tous les ratios calculés peuvent être analysés mois par mois sur une ou deux années de référence.

À partir des consommations d'énergie détaillées, l'auditeur analyse les fortes variations, les consommations associées aux différentes configurations du site (tranches horaires, week-end, etc.) et l'incidence des conditions climatiques. Les performances énergétiques du site sont comparées à des références connues dans son activité.

B. Identification des gisements d'économies d'énergie

Les gisements d'économies envisageables sont détectés à partir des consommations spécifiques et de la comparaison du fonctionnement des installations aux meilleures pratiques énergétiques.

Cette comparaison peut se répertorier selon cinq domaines d'intervention :

- Les méthodes de production : examen de l'adéquation de l'installation avec la production et les conditions dans lesquelles on la fait fonctionner. La puissance installée est-elle adaptée (sur ou sous dimensionnement) ? L'utilisation de l'outil de production est-elle optimale ?
- Les conditions d'exploitation du matériel : conditions générales de service, état et condition d'entretien du matériel, personnel de maintenance.
- Les équipements par l'amélioration du rendement dans les bonnes conditions d'exploitation et de réglages.

- D'éventuels dysfonctionnements, sources d'améliorations potentielles de consommation.
- Les possibilités de valorisations énergétiques de pertes et rejets.

La quantification des gisements d'économies est estimée à partir du bilan énergétique et des profils de consommation.

3. Présentation des résultats

Une restitution des résultats de cette première étape est réalisée auprès du chef de l'établissement sous forme d'un rapport préliminaire comprenant notamment :

- Un descriptif simplifié des principales installations ;
- La première approche du bilan énergétique (répartition des consommations, consommations spécifiques, profils de consommation, comparaison à des ratios de référence) ;
- L'analyse des paramètres de fonctionnement ;
- L'identification et la justification des gisements d'économies, ainsi que la quantification des gains potentiels ;
- La description des interventions simples à mettre en œuvre ;
- La description de la poursuite de l'analyse détaillée (phase 2).

III.3.2. Deuxième phase : Analyse détaillée

1. Déroulement

L'auditeur approfondit les axes de travail préférentiel retenus à l'issue de l'analyse préalable, en établissant les besoins en énergie (en quantité et qualité, suivant les cycles de production ou de fonctionnement et dans le temps) des différents processus, et les moyens énergétiques associés, ainsi que la fourniture en utilités.

A. Collecte d'informations complémentaires

Cette phase comprend :

- les entretiens avec les responsables de la conduite, du suivi, de l'exploitation, de la maintenance des matériels et équipements, et des travaux neufs ;
- les relevés de comptage et de mesures existants ;
- les campagnes de mesures éventuelles ;
- la documentation complémentaire.

B. Analyse

L'auditeur analyse les données complémentaires et établit la consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement, à partir de calculs, de simulations ou d'estimation. La consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement est comparée aux données réelles.

L'analyse est poursuivie jusqu'à la convergence acceptable entre les calculs théoriques et les consommations relevées permettant d'aboutir à la consommation de base.

C. Présentation des résultats

L'auditeur rédige les documents de l'analyse détaillée. Après échanges et discussion avec le responsable de l'établissement, il remet le rapport de son analyse.

2. Approche méthodologique de la deuxième phase

Ce processus comporte quatre étapes :

A. Définition des besoins

L'auditeur doit partir des besoins (quantifier et qualifier les fluides nécessaires) et remonter à la distribution et à la production des fluides.

Les éventuels dysfonctionnements sont repérés et quantifiés comme source potentielle d'amélioration.

B. Analyse des données et mesures

Au niveau du site ou du système étudié, l'analyse des données et des résultats de la campagne de mesures consiste à :

- comparer les résultats aux données de fonctionnement ;
- rechercher les périodes de fonctionnement pour lesquelles les consommations d'énergie paraissent anormales ;
- déterminer et calculer des indicateurs (par fluide, par atelier, etc.) permettant d'évaluer la performance énergétique ;
- identifier les paramètres limitant ;
- étudier l'adéquation entre les dimensionnements, les systèmes de régulation et les besoins ;
- appréhender les conditions de conduite, d'entretien et de maintenance ;
- d'identifier et améliorer les paramètres ayant un impact sur l'environnement.

Sur la base de ces éléments (informations complémentaires, résultats validés de la campagne de mesures) ainsi que de la connaissance de la problématique étudiée par l'auditeur, la quantification du besoin réel est détaillée.

L'auditeur en déduit le gisement de manière précise, par rapport à la situation existante, en fonction des caractéristiques et des contraintes du système.

L'analyse des indicateurs de performance énergétique et des dysfonctionnements conduit à confronter les relevés :

- ✓ aux données théoriques (ratios de la profession) ;
- ✓ aux besoins réels identifiés ;
- ✓ au dimensionnement de l'installation.

C. Réalisation des bilans

En fonction des éléments complémentaires recueillis, l'auditeur établit des bilans (thermiques, électriques, économiques, etc.) des systèmes étudiés. Ces éléments sont réintégrés dans le bilan global du site.

La consolidation du bilan global du site consiste à recouper les résultats de calculs basés sur les données divisionnaires (instrumentation en place et campagne de mesures pour les données manquantes ou douteuses) avec les consommations totales annuelles issues des factures énergétiques.

La répartition des usages des énergies primaires sur le site est détaillée par grands secteurs utilisateurs (unités de production ou ensemble d'unités, bâtiment, production d'utilités, etc.).

La synthèse des diagrammes de flux des différents secteurs permettra d'étudier les synergies possibles, comme par exemple :

- La valorisation d'un rejet thermique sortant d'un secteur et entrant dans un autre ;
- L'organisation de l'activité des différents secteurs pour limiter les puissances instantanées appelées (démarrage différé, délestage, etc.).

Le bilan énergétique du site permet d'aboutir à l'établissement :

- de la part fixe et de la part variable de la consommation énergétique ;
- d'un diagramme de flux énergétiques, mettant en évidence, l'énergie entrante, l'énergie produite, récupérée, l'énergie utile, l'énergie perdue (pertes par les parois, rejets gazeux, effluents liquides, etc.) ;

- des rendements.

D. Description des gisements d'économie d'énergie

Pour établir le gisement potentiel d'économies, l'auditeur compare, chaque fois que possible, les éléments de son bilan aux ratios de référence de l'activité et aux performances des équipements les plus efficaces au plan énergétique, disponibles sur le marché.

En partant des indicateurs calculés, les gisements d'économies d'énergie sont argumentés.

Après avoir établi le gisement potentiel d'économies, l'auditeur recherche les causes des dérives, par exemple :

- Les modes de gestion, de régulation ;
- Les choix technologiques ;
- Le dimensionnement des équipements ;
- Les phénomènes d'usure, d'encrassement, de dégradation ;
- Les conditions de maintenance.

3. Résultats

Une restitution des résultats de cette 2ème phase est réalisée auprès du chef de l'établissement au cours d'une réunion où sont recueillis ses commentaires. Un rapport lui est remis ; il comprend :

- un descriptif simplifié des principales installations techniques : celui-ci doit permettre de situer rapidement les différents postes consommateurs d'énergie sur le site, les lieux concernés par les préconisations et la position des moyens de mesures ou de comptage ;
- les résultats de la campagne de mesures ;
- un tableau présentant les caractéristiques générales de chaque équipement étudié ;
- les bilans énergétiques, assortis des hypothèses utilisées et le bilan global du site ;
- une appréciation sur les réseaux de fluides et les comptages primaires (électricité, gaz, eau...) ;
- l'indication des principaux ratios utilisés pour l'analyse énergétique ;
- la consolidation de l'évaluation énergétique des gisements ;
- l'analyse de l'auditeur sur les causes des dérives.

III.3.3. Troisième phase : Recherche des solutions d'amélioration

Sur la base de l'analyse détaillée de la 2ème phase et des commentaires du chef de l'établissement, l'auditeur recherche les solutions pour atteindre tout ou partie des gisements.

1. Déroulement

A partir du bilan énergétique validé correspondant à la consommation de base l'auditeur :

- analyse les dysfonctionnements ;
- identifie, quantifie, chiffre et décrit les solutions d'amélioration envisageables à mener pour réduire la facture énergétique ;
- compare les solutions envisageables entre elles ;
- propose des indicateurs de performance énergétique et leur suivi périodique.

L'auditeur rédige le rapport final et le présente au chef de l'établissement. Les échanges doivent permettre d'aider le gestionnaire de l'établissement dans le choix des solutions à retenir.

2. Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase**A. Identification des solutions**

Les actions possibles sont identifiées par l'auditeur sur la base :

- de sa propre expertise ;
- de l'âge du matériel, de son état, de mode d'exploitation et de conduite ;
- de la technologie du matériel existant par rapport aux équipements les plus efficaces disponibles sur le marché.

B. Description des solutions

L'auditeur présente :

- la liste des actions à mettre en place concernant la sensibilisation, la formation du personnel, les comptages de l'énergie et leur suivi ;
- la liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé ;
- la liste des modifications à apporter aux modes opératoires ;
- les incidences sur le mode d'exploitation, sur l'entretien et sur la durée de vie des équipements sont signalées, ainsi que les éventuelles contraintes de mise en œuvre, les incidences environnementales.

C. Quantification des économies d'énergie

Les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits en matière de productivité, de maintenance, de qualité de production, sont évalués. Les retombées positives sur certains critères comme par exemple sur les conditions de travail, de préservation de l'environnement, la sécurité, etc., sont mentionnées. Ces améliorations sont introduites dans le bilan énergétique établi afin d'en faire une simulation, d'estimer leur impact sur la consommation de base et le gain potentiel, en tenant compte des éventuels échanges entre les postes consommateurs d'énergie.

D. Évaluation des solutions

Les coûts liés aux solutions d'amélioration sont évalués (études, investissement, bonnes pratiques, etc.), ainsi que l'impact sur le bilan d'exploitation du site, afin d'établir notamment les temps de retour brut. Les investissements correspondants et leur temps de retour seront précisés à partir de l'expérience de l'auditeur, des données existant sur le site et de quelques consultations préliminaires auprès des fournisseurs permettant d'établir une estimation budgétaire. La détermination précise des montants d'investissement est un des objets de l'étude de faisabilité faisant éventuellement suite à l'audit.

E. Présentation des solutions

Afin de permettre une aide à la décision dans le choix des solutions étudiées, celles-ci sont présentées d'abord de façon indépendante les unes des autres (actions unitaires), puis de façon combinée (plusieurs actions unitaires cohérentes entre elles).

❖ Actions unitaires

Pour chaque action possible, préalablement étudiée, l'auditeur établit une fiche récapitulative comprenant :

- sa classification dans une des trois catégories possibles d'amélioration, pour mémoire : modification des comportements, optimisation des processus, ou évolutions rendant nécessaires des investissements ;
- une description détaillée ;
- le chiffrage de la solution :
 - gain potentiel en DAHT/an ;
 - le gain potentiel en kWh/an ou th/an ;
 - le coût d'investissement, éventuel, et dans ce cas la fiche mentionne le temps de retour brut ;

- l'incidence sur les coûts d'exploitation et de maintenance, y compris sur les contrats de fourniture des énergies (abonnement, puissance ou débit souscrit) ;
- l'incidence éventuelle avec d'autres critères d'amélioration (qualité, productivité, etc.) ;
- les hypothèses de la simulation (coûts énergétiques, durées et périodes de fonctionnement, etc.)
- la durée de vie usuelle ;
 - les répercussions sur la formation du personnel, la conduite, l'entretien ;
 - les contraintes de mise en œuvre ;
 - les cohérences, et les éventuels impacts avec les autres actions ;
 - les formes de soutien financier éventuel : aides, subventions, incitations fiscales, etc.

❖ **Actions combinées**

Il sera utile d'étudier les actions de façon combinées dans le cas où :

- plusieurs actions unitaires apparaissent cohérentes entre elles ;
- plusieurs actions interfèrent entre elles, notamment en cas d'impact négatif de certaines sur d'autres. Une fiche récapitulative concernant la combinaison de ses actions pourra être établie sur une base identique à celle décrite précédemment. Cela permettra de dégager le gain réel de ses actions associées (ce gain n'est pas forcément égal à la somme des gains obtenus pour chaque action unitaire), et de définir éventuellement un plan d'engagement commun de ces actions.

III.4. Rédaction du rapport [23]

L'Auditeur devra rédiger un rapport complet sur l'audit de l'établissement. Ce rapport devra contenir tous les renseignements nécessaires ayant trait aux investigations citées ci-dessus

❖ **Contenu du rapport d'audit**

Le rapport d'audit devra être rédigé suivant le plan ci-après.

- Sommaire du rapport.
- Avant-propos ou préface.
- Identification de l'entreprise et de l'auditeur.
- Description générale de l'établissement.
- Analyse qualitative de la situation énergétique de l'établissement.

- Analyse quantitative et description de toutes les recommandations d'économie d'énergie.
- Résumé des principales recommandations.

III.5. Les instruments pour l'audit énergétique [23]

Les instruments de base portables qui sont généralement nécessaires pour effectuer un audit énergétique sont :

1. Analyseur d'oxygène.
2. Analyseur de gaz de combustion (oxygène et gaz carbonique).
3. Tube Pitot ou manomètre (pour mesurer débit des fumées).
4. Pyromètre à infrarouge.
5. Thermomètres avec différentes sondes de température.
6. Débitmètre.
7. Hygromètre ou thermo-hygromètre.
8. Analyseur de réseau électrique (tension, courant, $\cos \varphi$, consommation d'énergie etc.).
9. Ampèremètres.
10. Appareils de mesure du $\cos \varphi$.
11. Appareils de mesure de l'éclairement (luxmètre).
12. Analyseur d'harmoniques.
13. Multimètre.
14. Pincés ampérométriques.



Fig. III.1 : Illustration de quelques instruments de mesure

III.6. Documentation utile à l'auditeur [23]

Lors de la réunion d'enclenchement de l'audit, le responsable de l'établissement doit mettre à la disposition de l'auditeur la documentation suivante :

- État de la consommation de combustible mensuelle et annuelle.
- Factures d'énergie sur les trois dernières années.
- Contrats de fourniture d'énergie.

- Tous les relevés de compteurs de gaz, électricité, vapeur, etc... de l'année précédente.
- Tous les chiffres de production mensuels/hebdomadaires de l'année précédente, chiffres d'ensemble de l'établissement, chiffres de chaque procédé et de chaque équipement, s'ils sont disponibles.
- Les fiches journalières des équipements consommant le plus d'énergie si elles sont disponibles.

| CONSOMATION FUEL GAZ DE LA REGION RNS ANNEE 2018 | | | | | | |
|--|----------------|---------------|--------------|---------------|-------------|---------------|
| PERIODE | Fuel Gaz Total | CSC | CPF | GPL | Base de vie | PHASE A |
| | KSM3 | | | | | |
| Janvier | 49 017 | 3322 | 8224 | 15613 | 126 | 21732 |
| Février | 46 105 | 3534 | 5833 | 13829 | 113 | 22796 |
| Mars | 46 216 | 3975 | 6459 | 14857 | 126 | 20799 |
| 1^{er} trimestre | 141 338 | 10 831 | 20516 | 44299 | 365 | 65328 |
| Avril | 37 341 | 3764 | 5008 | 5667 | 122 | 22781 |
| Mai | 52 713 | 3933 | 4630 | 14749 | 126 | 29275 |
| Juin | 49 475 | 3711 | 4155 | 14501 | 122 | 26987 |
| 2^{ème} Trimestr | 139 529 | 11 408 | 13793 | 34917 | 369 | 79042 |
| 1^{er} Semestre | 280 867 | 22 239 | 34309 | 79216 | 733 | 144370 |
| Juillet | 43 836 | 3748 | 4559 | 14835 | 126 | 20568 |
| Aout | 54 660 | 3860 | 4348 | 14972 | 126 | 31354 |
| Septembre | 48 659 | 3830 | 867 | 14580 | 122 | 29261 |
| 3^{ème} Trimestr | 147 155 | 11 438 | 9774 | 44387 | 373 | 81183 |
| Octobre | 55 045 | 4006 | 3225 | 15165 | 126 | 32523 |
| Novembre | 53 295 | 3377 | 3977 | 14511 | 122 | 31309 |
| Décembre | 52 251 | 3923 | 4413 | 14980 | 126 | 28809 |
| 4^{ème} Trimestr | 160 591 | 11 306 | 11615 | 44656 | 373 | 92641 |
| 4^{ème} Semestr | 307 746 | 22 744 | 21389 | 89043 | 745 | 173825 |
| TOTAL | 588 613 | 44 983 | 55698 | 168259 | 1478 | 318195 |

Fig. III.2 : Modèle d'un tableau des données de la consommation de fuel gaz de la région RNS année 2018 [24]

- Les détails de tous les équipements de taille moyenne consommant de l'énergie, par exemple le type/modèle, la puissance, les conditions, le type de combustible (fiche technique).
- Les heures d'utilisation des équipements et le mode de fonctionnement de l'établissement.
- Le questionnaire.

| PRODUCTION ANNEE 2018 | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| PERIODE | Gaz Brut | Gaz Sec | Expédition | Réinjection | Fuel Gaz | Torche | Production Condensât | Expédition Condensât | | |
| | 1000 Sm3 | 1000 Sm3 | 1000 Sm3 | 1000 Sm3 | 1000 Sm3 | 1000 Sm3 | en Tonnes | M3 | en Tonnes | M3 |
| Janvier | 1 584 281 | 1 540 649 | 1 351 383 | 109 165 | 49 017 | 31 084 | 92 848,700 | 129 853,039 | 92 652,004 | 129 576,206 |
| Février | 1 424 150 | 1 383 809 | 1 191 881 | 125 077 | 46 105 | 20 746 | 82 499,578 | 115 506,982 | 82 525,018 | 115 545,719 |
| Mars | 1 564 665 | 1 519 946 | 1 337 467 | 118 871 | 46 216 | 17 392 | 90 796,574 | 127 134,206 | 91 240,899 | 127 764,303 |
| 1^{er} trimestre | 4 573 096 | 4 444 404 | 3 880 731 | 353 113 | 141 338 | 69 222 | 266 144,852 | 372 494,227 | 266 417,921 | 372 886,228 |
| Avril | 1 443 267 | 1 417 838 | 1 076 945 | 283 536 | 37 341 | 20 016 | 76 064,153 | 105 968,831 | 75 749,174 | 105 535,661 |
| Mai | 1 546 571 | 1 504 753 | 871 004 | 578 380 | 52 713 | 2 656 | 87 085,108 | 122 211,172 | 87 123,894 | 122 235,303 |
| Juin | 1 451 306 | 1 411 484 | 946 499 | 412 556 | 49 475 | 2 954 | 80 779,288 | 113 575,054 | 80 713,400 | 113 468,845 |
| 2^{ème} Trimestre | 4 441 144 | 4 334 075 | 2 894 448 | 1 274 472 | 139 529 | 25 626 | 243 928,549 | 341 755,057 | 243 586,468 | 341 239,809 |
| 1^{er} Semestre | 9 014 240 | 8 778 479 | 6 775 179 | 1 627 585 | 280 867 | 94 848 | 510 073,401 | 714 249,284 | 510 004,389 | 714 126,037 |
| Juillet | 1 417 739 | 1 377 149 | 1 196 235 | 133 930 | 43 836 | 3 148 | 81 430,744 | 114 169,139 | 81 184,522 | 113 847,793 |
| Aout | 1 505 707 | 1 465 631 | 866 426 | 542 047 | 54 660 | 2 498 | 86 791,006 | 121 654,331 | 86 995,240 | 121 930,675 |
| Septembre | 1 331 298 | 1 293 218 | 616 704 | 625 466 | 48 659 | 2 389 | 64 428,258 | 91 208,537 | 64 630,479 | 91 497,958 |
| 3^{ème} Trimestre | 4 254 744 | 4 135 998 | 2 679 365 | 1 301 443 | 147 155 | 8 035 | 232 650,008 | 327 032,007 | 232 810,241 | 327 276,426 |
| Octobre | 1 425 069 | 1 383 427 | 675 873 | 650 309 | 55 045 | 2 200 | 80 294,414 | 112 788,621 | 80 203,805 | 112 647,985 |
| Novembre | 1 462 795 | 1 422 885 | 707 613 | 655 762 | 53 295 | 6 215 | 82 436,627 | 115 593,919 | 82 235,730 | 115 321,750 |
| Décembre | 1 534 414 | 1 491 910 | 872 632 | 562 644 | 52 251 | 4 383 | 85 917,501 | 120 819,671 | 86 024,375 | 120 946,534 |
| 4^{ème} Trimestre | 4 422 278 | 4 298 222 | 2 256 118 | 1 868 715 | 160 591 | 12 798 | 248 648,542 | 349 202,211 | 248 463,910 | 348 916,269 |
| 2^{ème} Semestre | 8 677 022 | 8 434 220 | 4 935 483 | 3 170 158 | 307 746 | 20 833 | 481 298,550 | 676 234,218 | 481 274,151 | 676 192,695 |
| TOTAL | 17 691 262 | 17 212 699 | 11 710 662 | 4 797 743 | 588 613 | 115 681 | 991 371,951 | 1 390 483,502 | 991 278,540 | 1 390 318,732 |

Fig. III.3 : Modèle d'un tableau des données de la production année 2018 [24]

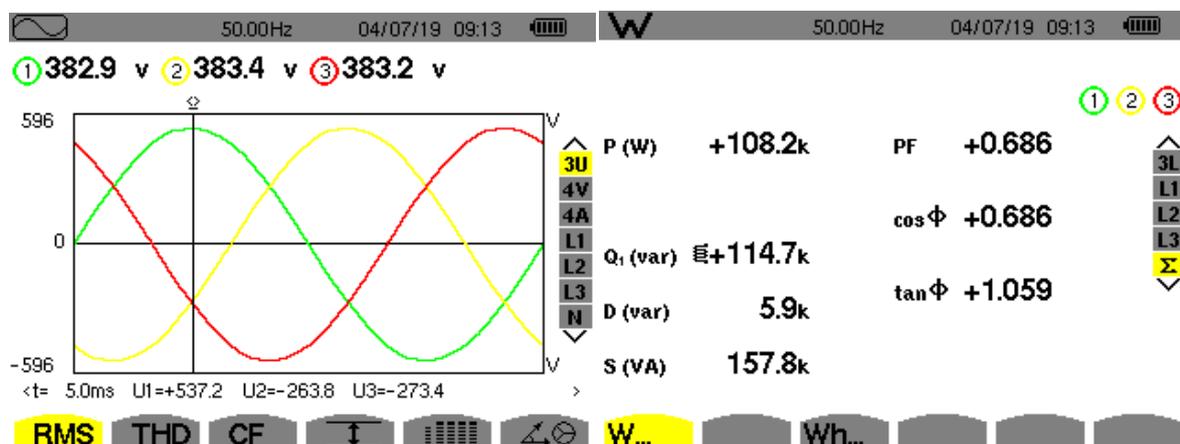


Fig. III.4 : Modèle d'une mesure de la consommation électrique (du transformateur 50TMB - 1.1A)

| | | | | | | |
|--|--|--|-----------|-----------------------------|----------------|--------|
| CLIENTE - Client SONATRACH | | ANNI 161800 | | UNITA 40 | | |
| LOCALITA' - Site RHOURDE NOUSS | | SPC. No. R.A.E. - 74103 03380 | | | | |
| IMPIANTO - Unità TRAIEMENT ET RECYCLAGE DE GAZ NATUR. | | FG. - p. / Di. - de 1 / 8 | | Rev. 0 2 3 | | |
| FOGLIO DATI PER FORNI NOTICE DE DOCUMENTATION POUR FOURN | | | | | | |
| SERVIZIO RECHAUFFEUR DU GAZ DE REGENERATION (1) | | BIGLA Repère 40-F-1 | | | | |
| TIPO Vert. Cylind. Radiante | | NUMERO RICHIESTO 1 | | COSTRUTTORE Snamprogetti | | |
| CALORE TOTALE SCAMBIATO PER FORNO Chaleur totale échangée par four 3.41 MM kcal/h | | | | | | |
| CONDIZIONI DI PROCESSO OPERATIVE E DI PROGETTO - CONDITIONS DE PROCÉDE DE SERVICE ET DE CALCUL | | | | | | |
| 4 | DESCRIZIONE | | CALCOL | CASE A | CASE B | |
| 5 | CALORE ASSORBITO Chaleur absorbée | MM kcal/h | 3.41 | 2.96 | 2.51 | |
| 6 | FLUSSO TERMICO MEDIO CALCOLATO Flux thermique moyen calculé | kcal/m ² h | 32520 | | | |
| 7 | FLUSSO TERMICO MEDIO AMMESSO Flux thermique moyen admis | kcal/m ² h | | | | |
| 8 | FLUSSO TERMICO MASSIMO Flux thermique max. | kcal/m ² h | 74146 | | | |
| 9 | PORTATA TOTALE DELLA CARICA Débit total de la charge | kg/h | 19000 | 16500 | 13500 | |
| 10 | PESO SPECIFICO DELLA CARICA 15/4 Poids spécifique de la charge 15/4 | | | | | |
| 11 | FATTORE DI CARATTERIZZAZIONE DELLA CARICA Facteur de caractérisation de la charge | | 18.75 | 18.75 | 18.75 | |
| 12 | INIZIO VAPORIZZAZIONE Point de bulle | °C/kg/cm ² ga | | | | |
| 13 | MASSIMA TEMPERATURA AMMESSA DELLA MASSA Température max. admissible de la masse | °C | | | | |
| 14 | MASSIMA TEMPERATURA AMMESSA DEL FILM Température max. admissible du film | °C | | | | |
| 15 | PERDITA DI CARICO AMMISSIBILE Perte de charge admissible | kg/cm ² | 2.5 | 2.5 | 2.5 | |
| 16 | PERDITA DI CARICO CALCOLATA Perte de charge prévue | kg/cm ² | 2.5 | | | |
| 17 | TEMPERATURA OPERATIVA Température de service | °C | 41 | 320 | 41 | 330 |
| 18 | TEMPERATURA DI PROGETTO DEL FLUIDO Température de calcul du fluide | °C | 360 | 360 | 360 | |
| 19 | PRESSIONE OPERATIVA Pression de service | kg/cm ² ga | 26.28 | 23.78 | 26.28 | 23.78 |
| 20 | PRESSIONE DI PROGETTO Pression de calcul | kg/cm ² ga | 30 | 30 | 30 | |
| 21 | PRESSIONE OPERATIVA IN CONDIZIONI DI VUOTO Pression de service à vide | mm Hg abs. | | | | |
| 22 | LIQUIDO PORTATA Liquide Débit | kg/h | | | | |
| | PESO MOLECOLARE Poids moléculaire | | | | | |
| | PESO SPECIFICO ALLE CONDIZIONI Poids spécifique aux conditions | | | | | |
| | VISCOSITA' Viscosité | cP | | | | |
| | ENTALPIA Enthalpie | kcal/kg | | | | |
| 23 | VAPORE PORTATA Vapeur Débit | kg/h | 19000 | 16500 | 16500 | 13500 |
| | PESO MOLECOLARE Poids moléculaire | | 18.6 | 18.6 | 18.6 | 18.6 |
| | DENSITA' Densité | kg/m ³ | 19.24 | 8.75 | 19.24 | 8.75 |
| | VISCOSITA' Viscosité | cP | 0.012 | 0.02 | 0.012 | 0.019 |
| | ENTALPIA Enthalpie | kcal/kg | 35.58 | 221.5 | 35.58 | 215.2 |
| 24 | VAPORIZZATO Vaporisation | % wt | | | | |
| 25 | VELOCITA' NEI TUBI Vitesse dans les tubes | m/sec | | | | |
| 26 | INIEZIONE DI VAPORE DI PROCESSO IN/NEL Injection de vapeur de procédé dans | | | | | |
| 27 | PORTATA VAPORE DI PROCESSO Débit vapeur de procédé | kg/h | | | | |
| 28 | TEMPERATURA VAPORE DI PROCESSO Température vapeur de procédé | °C | | | | |
| 29 | PRESSIONE VAPORE DI PROCESSO Pression vapeur de procédé | kg/cm ² ga | | | | |
| 30 | FLESSIBILITA' GARANTITA DELLA CAPACITA' E DELLO SCAMBIO TERMICO DEL FORNO Flexibilité garantie de la capacité et de l'échange thermique du four | DA | 10 | 100 | % DEL PROGETTO | |
| (1) SERVICE INTERMITTENT | | | | | | |
| 3 | MODIFICHE OVI INDICARE | | | | 300 | 7-6-85 |
| 2 | REVISIONE GENERAL | | | | 320 | 4-3-85 |
| 1 | MISSIONI - Emission | | | | | |
| DESCRIZIONE - Description | | PRC | Data-Dat. | CME | Data-Dat. | |

Fig. III.5 : Modèle d'une Fiche technique (Four 40F01) [4]

Conclusion

Une fois que nous aurons traité cette partie, il nous semble que nous avons déjà une appréciation satisfaisante de la méthode d'audit et des matériaux que nous utiliserons dans ce travail, ainsi que le véritable objectif de notre travail et de l'objectif à venir.

Par conséquent, nous pouvons maintenant commencer notre étude pour connaître l'état de l'énergie dans le site de production et trouver des solutions pour réduire sa consommation, et c'est ce que nous verrons dans les chapitres suivants.

Chapitre -IV-

DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS AUDITÉS DE L'UNITÉ CPF

Introduction

L'unité CPF dispose de nombreux véhicules complémentaires pour le travail de cette unité, et en visitant le site, nous avons constaté qu'il y avait quatre équipements qui peuvent être le principal facteur de consommation d'énergie. Ce chapitre consacré à une description générale pour les équipements de l'installation qui consomme a été l'énergie et leur fonctionnement.

IV.1. Généralités sur les turbines à gaz

IV.1.1. Définition

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue, elle peut être considérée comme un système autosuffisant; en effet, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertit cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel. [25]

Sous sa forme la plus simple une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique ; une chambre de combustion, où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène) et en fin une turbine de détente des gaz jusqu' à la pression atmosphérique.

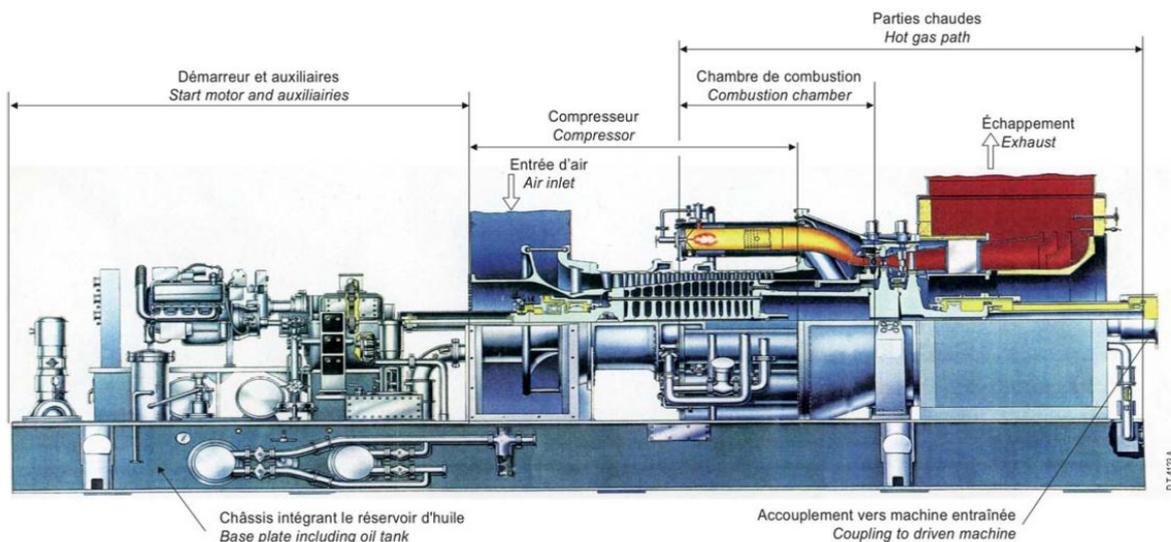


Fig. IV.1 : Schéma des principaux composants d'une turbine à gaz [25]

Elles peuvent être utilisées pour l'entraînement des :

Appareils fixes

- Générateur d'électricité ;
- Compresseurs ;
- Pompes.

Appareils mobiles

- Chemin de fer ;
- Propulsion maritime ;
- Aviation

IV.1.2. Classification des turbines à gaz [26]

IV.1.2.1. Par le mode de construction

Le type qu'on doit choisir dans l'industrie, est défini par notre objectif final; on trouve:

❖ Les turbines à un seul arbre (mono-arbre)

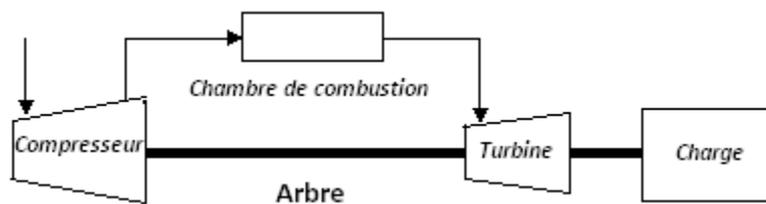


Fig. IV.2 : Turbine à gaz à mono-arbre

Dites aussi mono-arbre ; elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité).

❖ Les turbines à deux arbres (bi-arbres)

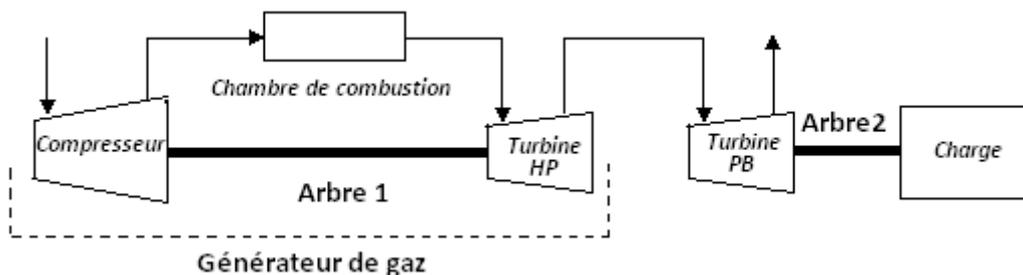


Fig. IV.3 : Turbine à gaz à bi-arbres

Elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charges variables (pompes, compresseurs,...); elles se composent de deux parties, la première assure l'autonomie de la turbine (GG), la deuxième est liée à la charge.

IV.1.2.2. Par le mode de travail

On distingue deux types de turbine :

- **Turbine à action**

Où l'énergie thermique est transformée complètement en énergie cinétique dans la directrice. L'évolution des gaz dans la roue se fait sans variation de pression statique $P_1 > P_2 = P_3$.

- **Turbine à réaction :**

Une partie de l'énergie thermique est transformée dans la roue en énergie cinétique et mécanique. L'évolution des gaz dans la roue se fait avec variation de la pression statique $P_1 > P_2 > P_3$. Le taux de réaction ϵ caractérisera le % d'énergie thermique totale.

IV.1.2.3. Par la nature du cycle thermodynamique

Il existe deux cycles thermodynamiques :

- **Turbine à gaz à cycle fermé :** dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

- **Turbine à gaz à cycle ouvert :** c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère, ce type de turbine qui est le plus répandu se divise en deux classes :

- ✓ **Turbine à cycle simple :** c'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique est perdus dans l'atmosphère à travers l'échappement.

- ✓ **Turbine à cycle régénéré :** c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation.

IV.1.3. Type d'installation de turbine à gaz à CPF/RNS

De nos jours la turbine à gaz connaît une large utilisation et dans différents domaines et en particulier dans le domaine des hydrocarbures à cause de leur grande gamme de puissance et leurs propres avantages.

A centre de production SONATRACH, l'installation de traitement de gaz est parmi les complexes, qui permettent de récupérer, traiter, alimenter le circuit de réinjection et commercialiser le gaz grâce à la force motrice primaire qui est la turbine à gaz.

A unité CPF/RNS il existe quatre turbines à gaz de type SIEMENS SGT-400, elles sont employées pour entraîner les deux compresseurs boosters et les deux autres compresseurs de gaz de vente.

IV.1.3.1. Présentation de la turbine à gaz SIEMENS SGT-400 [27]

Vue d'ensemble

- Deux-arbre industrielle.
- Transmission mécanique : 13.40 MW.
- Rendement de l'arbre : 36,2%.
- Le taux de chaleur : 9,943 kJ / kWh (7028 Btu / bhph).
- Pleine charge vitesse de la turbine de puissance : 8000 -10 000 tr/min.
- Taux de compression du compresseur : 16,8: 1.
- Débit de gaz d'échappement : 39,4 kg / s (86,8 lb / s).
- La température d'échappement : 555 ° C (1031 ° F).
- Les émissions typiques : NOx:<15 ppmV et CO: <10 ppm de volume (corrigé 15% O₂ sec).
- La capacité des carburants de valeur à moyen calorifique (> 25 MJ / Nm³ Wobbe index).

Compresseur Axial

- Conception de flux axiale du compresseur transsonique 11 étages.
- Aubes de guidage d'entrée sont variables et stators.
- Rapport de pression : (ISO) 16,7: 1.
- Débit d'air : (ISO) 38,9 kg / s.
- Vitesse nominale : 14 100 tr / min.

Combustion

- 6 chambres inverses de tubulaires de combustion d'écoulement.
- Dry Low Emissions (DLE) système de combustion.
- Unique allumeur haute énergie dans chaque chambre.
- Possibilité d'injection de vapeur verser le pouvoir augmentation.

Système de carburant

- Gaz naturel - liquide carburant - à double carburant.
- Combustibles autres capacité sur demande.



Fig. IV.4 : Turbine à gaz SGT-400

IV.1.3.2. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz SIEMENS SGT-400 [28]

La turbine à gaz SGT-400 possède deux arbres et elle se compose de cinq sections principales : section admission, section compression, section combustion (ensemble des chambres de combustion), section détente (turbine HP et BP), section échappement, et elle est équipée par un compartiment auxiliaire qu'il est situé à l'avant du caisson d'aspiration d'air, et comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant de la turbine, tels que le système d'alimentation de l'huile (pompes principales, pompes auxiliaires), moteur de lancement, réducteur, vireur.

Grâce à un système de lancement (démarrage), le rotor de la turbine HP est lancé à 20% de sa vitesse nominale, le compresseur axial aspire l'air de l'atmosphère et après sa compression il le refoule dans les chambres de combustion où le combustible est livré sous pression. L'air est mélangé avec du fuel gaz à l'intérieur des chambres de combustion où sera brûlé le mélange à l'aide d'une étincelle de haute tension. Les gaz chauds résultants de cette combustion sont acheminés vers le premier étage (la roue HP), la détente de ces gaz chauds à

haute pression produit le travail nécessaire pour l'entraînement de premier étage et par la suite le compresseur axial. Les gaz détendus dans le premier étage (HP) sont véhiculés à travers la directrice du second étage vers (BP) où ils subissent une autre détente, le rotor de la turbine commence à tourner et entraîne par la suite le compresseur, et le rotor de la turbine va accélérer jusqu'à la vitesse d'exploitation. Les produits de la combustion (les gaz de haute pression et de haute température) se répandent premièrement par la turbine et ils sont évacués dans l'atmosphère.

Quand les gaz passent par la turbine et frappent les déflecteurs de la turbine, ils entraînent la rotation de la turbine ; cela imprime aussi la rotation du compresseur axial et une sortie de couple aux accessoires entraînés. Les gaz font tourner le rotor avant l'évacuation et tournent la charge.

La figure IV.5, montre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus.

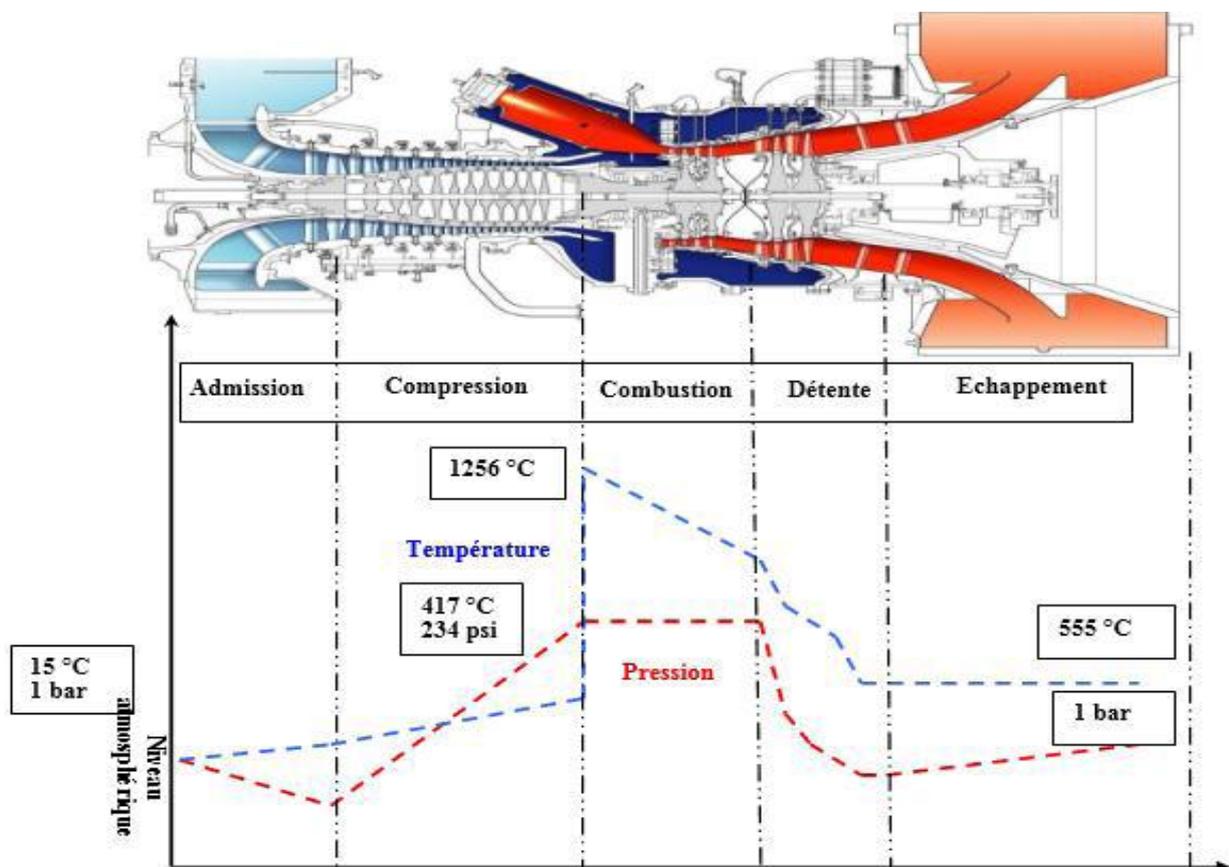


Fig. IV.5 : Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine [25]

IV.2. Généralités sur les fours industriels**IV.2.1. Définition d'un four**

Les fours, sont des appareils ; dans lesquels le chauffage des fluides s'effectue par les fumées produites par la combustion d'un combustible liquide ou gazeux. Ils sont dits à chauffage direct, car la chaleur des fumées est cédée directement au fluide froid qui circule dans un serpentin tubulaire.

Ces fours sont distincts des fours à chauffage indirect, dans lesquels le fluide à réchauffer circule dans un faisceau tubulaire baignant dans un fluide chaud, lui-même chauffé directement par les fumées du combustible. [29]

IV.2.2. Constitution d'un four [30]

D'une façon générale, les fours comportent les parties principales suivantes :

- ✓ Les brûleurs : Ils réalisent le mélange air-combustible et la combustion.
- ✓ Une zone dite radiation : Constituée essentiellement d'une chambre de combustion, dans laquelle des tubes sont disposés. Les tubes, non jointifs, sont reliés entre eux par des coudes.

Le fluide à chauffer circule à l'intérieur de ce faisceau de tubes. La transmission de chaleur s'effectue principalement par radiation. Une fraction de l'échange se fait également par convection entre les fumées et les tubes.

- ✓ Zone dite convection : Afin de récupérer la chaleur sensible des fumées, ces derniers circulent à vitesse élevée à travers un faisceau de tubes, où l'échange s'effectue principalement par convection. Ces tubes peuvent être garnis d'aiguilles, afin d'augmenter la surface d'échange du côté des fumées.

Le rendement d'un four avec zone de convection est, bien entendu, supérieur à celui d'un four ne comportant qu'une zone de radiation. Le rendement dépend de la température du fluide chauffé, mais également de l'importance de la surface d'échange que l'on a installée.

- ✓ Une cheminée d'évacuation des fumées.

Ces parties sont illustrées par la figure suivante :

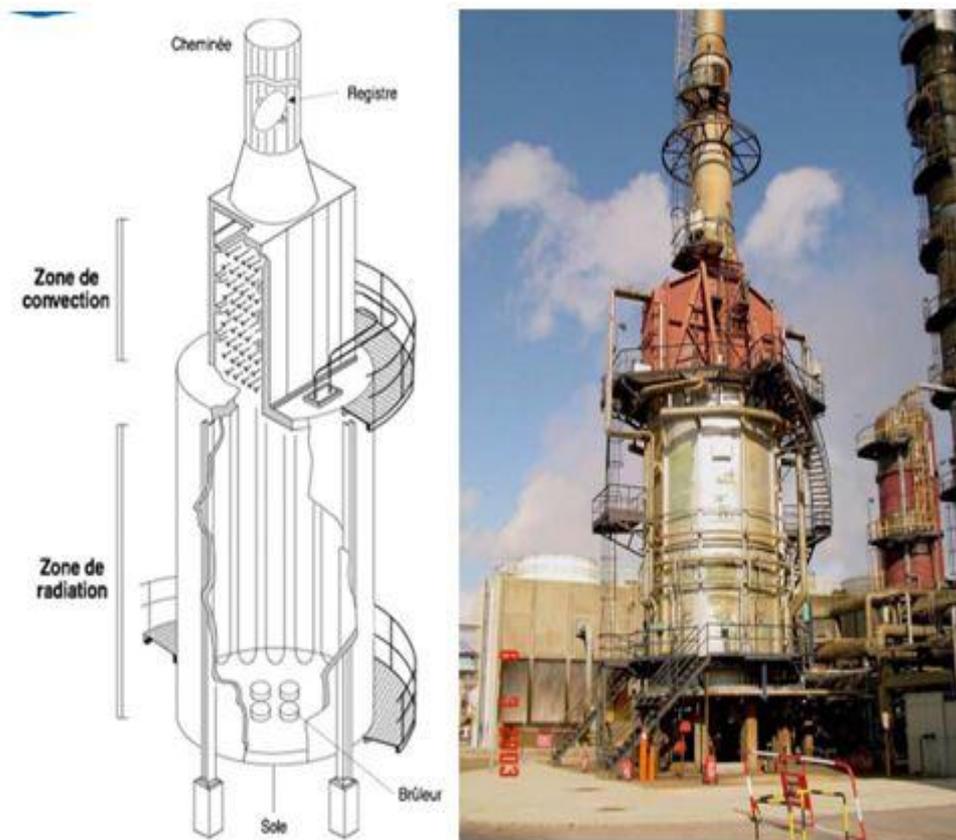


Fig. IV.6 : Schéma des principaux constituants d'un four [30]

IV.2.3. Différents types de four [31]

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours. On peut, toutefois, distinguer les différentes catégories suivantes :

A. Les fours cylindriques verticaux

La zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical. Les brûleurs sont placés sur la sole, à la base du cylindre. La surface d'échange couvre les parois verticales et présentes donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage.

B. Les fours «boîtes» à tubes verticaux

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède. Les brûleurs sont situés sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales.

C. Les fours «cabines» à tubes horizontaux

Dans ces fours la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux.

D. Les fours à chauffage par murs radiant

La surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis sur les parois latérales longitudinales.

IV.2.4. Type d'installation du four à CPF/RNS

Le four de régénération installé à l'usine CPF/RNS est un four cylindrique à tirage naturel ayant 2 passes et qui sert à chauffer le gaz de régénération à une température de 270°C. Les passes du four sont arrangées de façon symétrique pour que le débit soit également réparti. Le four a une section de convection à 9 rangées horizontales de 2 tubes par passe et une section radiante de 16 rangées par passe installés à la verticale. Un registre à la base de la cheminée permet l'ajustement du tirage du four. Une soufflante de balayage du four pour la séquence de démarrage du four est installée. Sur les tuyaux à la sortie de chaque passe de la partie radiante du four, des transmetteurs de températures avec alarme de différentiel entre les passes permettent de suivre la répartition de la chauffe entre les passes. Deux autres transmetteurs sont installés sur la conduite commune de sortie. Le premier possède un indicateur de très haute température pour arrêter le four. Le deuxième sert au contrôle qui s'effectue en modifiant le débit de gaz combustible aux brûleurs. La conduite se sépare ensuite en deux. Une branche s'en va vers les trois sécheurs tamis moléculaire alors que l'autre se dirige directement vers l'aéroréfrigérant du gaz de régénération lors de la période d'attente du cycle de régénération. [31]

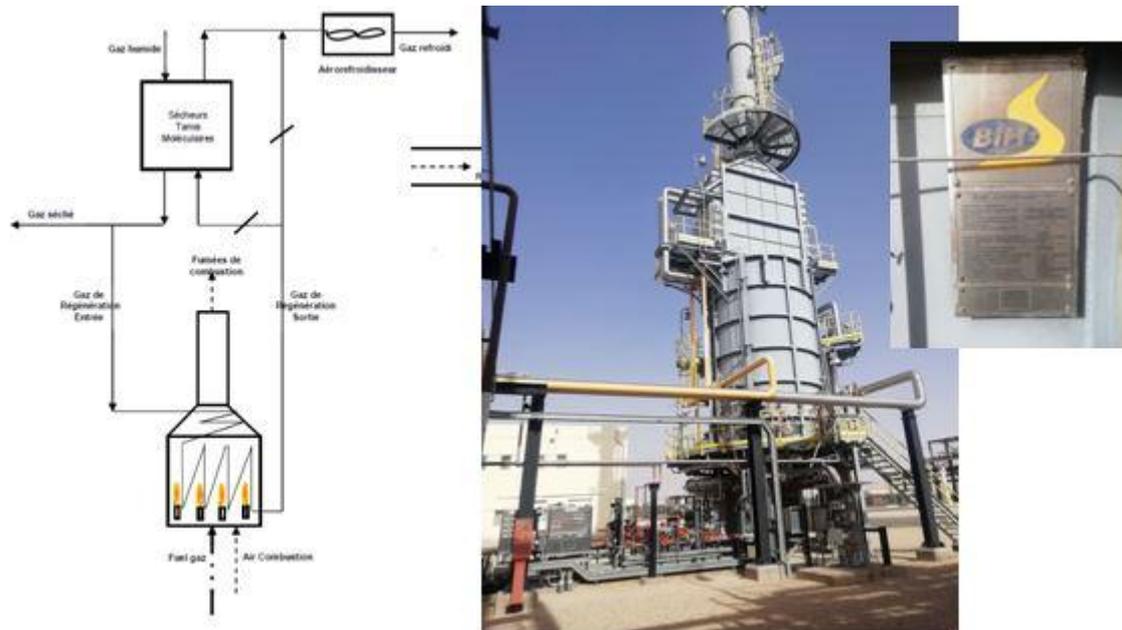


Fig. IV.7 : Schéma du four de régénération à unité CPF/RNS avec son procédé

IV.3. Généralités sur les transformateurs

IV.3.1. Définition

Le transformateur est une machine électrique statique destinée à transformer une tension (courant) alternative en une autre tension (courant) alternative de même fréquence, et d'amplitudes généralement différentes, comme on peut l'appeler convertisseur statique à induction qui comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, inductivement couplés et destiné à la conversion, par l'intermédiaire de l'induction électromagnétique, des paramètres (tension, intensité de courant, fréquence, nombre de phases) de l'énergie électrique à courant alternatif. [32]

Seuls les transformateurs de puissance permettent, très économiquement, de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée.

IV.3.2. Principaux éléments des transformateurs

D'une manière générale, un transformateur est constitué d'un circuit magnétique feuilleté et d'un ensemble de bobines séparées par des écrans électrostatiques qui entourent des noyaux magnétiques.

Chaque bobine formant le milieu conducteur est organisée en paquets de spires et chaque spire étant constituée de brins élémentaires.

Pour le même type de transformateurs se distinguent suivant la disposition géométrique

de leurs constituants, de la forme de leur circuit magnétique et du type de refroidissement. [33]

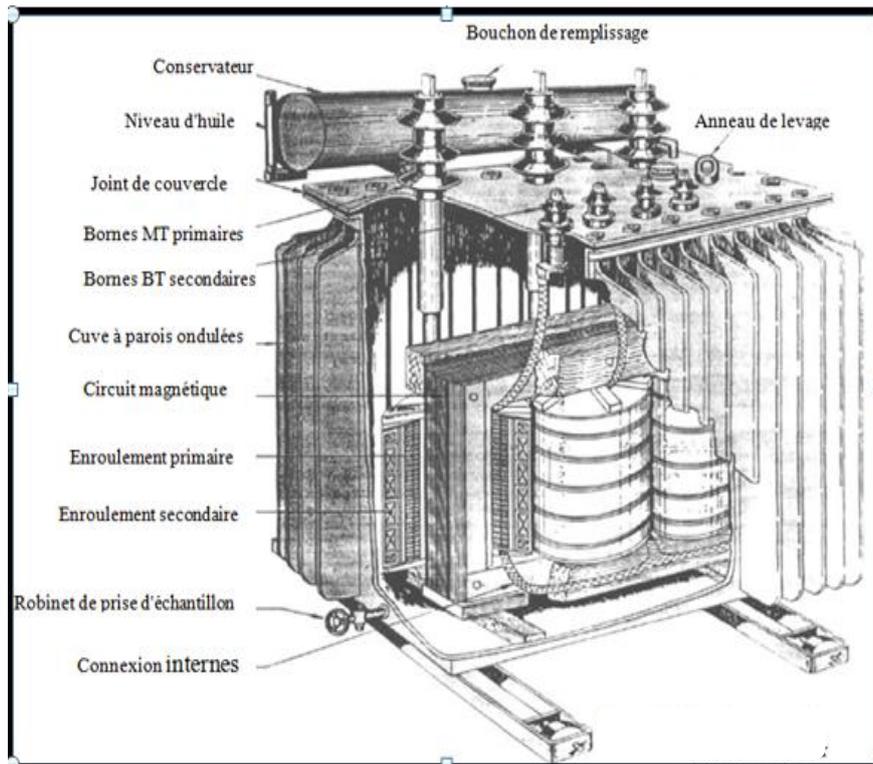


Fig. IV.8 : Principaux éléments de transformateur de puissance [32]

IV.3.3. Principe de fonctionnement

En vertu de la loi de Faraday, lorsqu'un flux d'induction magnétique variable Φ circule dans le circuit magnétique, il induit dans chacun des enroulements une force électromotrice proportionnelle dans le temps aux taux de changement ($d\Phi/dt$) et au nombre de spire que comporte cet enroulement.

Lorsque le primaire est alimenté par une source alternative, il circule dans le circuit magnétique un flux également alternatif dont l'amplitude dépend du nombre de spire du primaire et de la tension appliquée. Ce flux induit dans l'enroulement secondaire une tension proportionnelle au nombre de spires du secondaire. La fermeture du secondaire sur une charge provoque la circulation du courant secondaire. [33]

Le noyau magnétique fournit un chemin de canalisation de flux magnétique tel que montré par la figure IV.9.

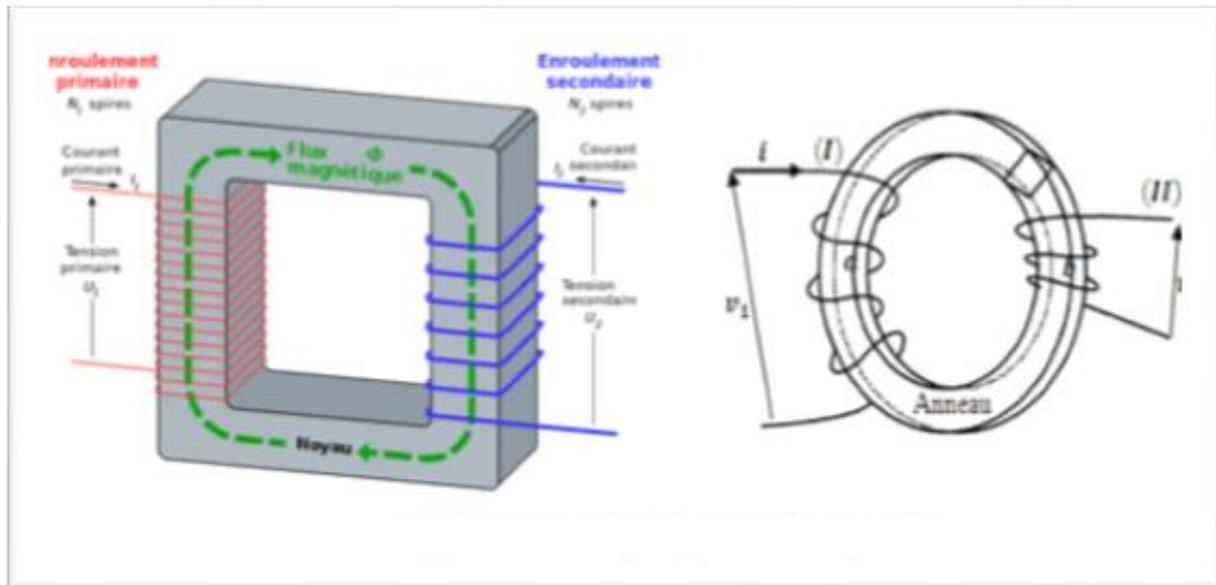


Fig. IV.9 : Circuits magnétiques et électriques liés

IV.3.4. Type d'installation du transformateur à CPF/RNS

L'alimentation de l'unité CPF (Rhourde Nous), en énergie électrique, est assurée par deux lignes moyennes tensions 30 KV, via un poste de transformation 30/5,5KV, Equipé de deux transformateurs de puissance de 15 MVA chacun.

Chacune de ces deux lignes aériennes est dimensionnée de façon à alimenter la charge totale requise par l'usine CPF.

- **Transformateurs de puissance**

Les transformateurs de puissance sont utilisés dans les réseaux de transmission de tensions plus élevées. Les caractéristiques nominales du transformateur de puissance sont les suivantes : 400 KV, 200 KV, 110 KV, 66 KV et 33 KV. Ils sont principalement évalués au-dessus de 200 MVA. Principalement installé dans les centrales et les sous-stations de transport. Ils sont conçus pour une efficacité maximale de 100%. [32]

- **Les principales caractéristiques des deux transformateurs 30kv/5.5kv [33]**

- Fabricant: SCHNEIDER ELECTRIC (FRANCE TRANSFO)

- Année de fabrication : 12/10/2010

- Puissance nominale unitaire : S = 15 000 KVA

- Couplage : YN yn0

- Mode de refroidissement: ONAN

- Tension de court-circuit :10%

- Diélectrique :Huile minérale. L'huile minérale des transformateurs doit être compatible et miscible avec Borak 22 ou les équivalents qui se trouvent sur le marché en Algérie.
- Commutateur de prises :à vide, manuel, quatre (4) prises, deux (2) à + 2,5 % et deux (2) à -2,5 %
- Connections en primaire : câbles
- Secondaire : gaine à barre
- Mise à la terre du neutre :par résistance basse, 100 A pour 10 S
- Protections : surcharge, court-circuit à la terre (Ph-N), température d'enroulement, température de l'huile, relais Buchholz, niveau d'huile, protection différentielle.
- Puissance nominale unitaire :S = 18 500 KVA en future avec mode de refroidissement : ONAF



Fig. IV.10 : Schéma des deux transformateurs de puissance de 15 MVA avec leur plaque signalétique.

IV.4. Généralités sur les moteurs électriques

IV.4.1. Définition

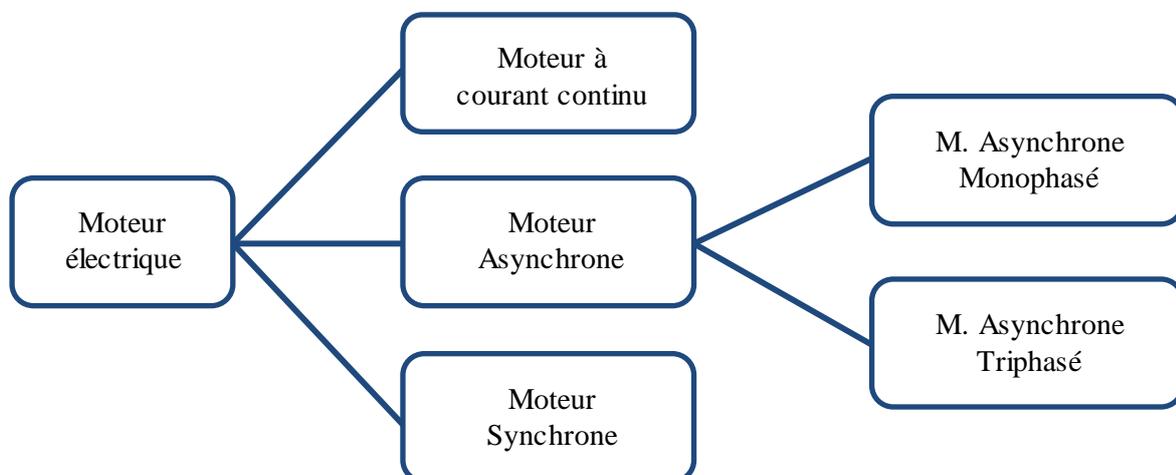
Les moteurs électriques sont des machines électromécanique qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique .En d'autre terme, ils sont connus comme des dispositifs qui produisent une force de rotation dans un moteur. Ils sont utilisés pour des applications nombreuses et diverses. [34]



Fig. IV.11. Moteur électrique

IV.4.2. Les types des moteurs électriques

La classification d'un moteur électrique est indiquée comme suivant : [34]



Les différents types de moteurs électriques diffèrent dans la manière dont les conducteurs et le champ sont disposés et également dans le contrôle qui peut être exercé sur le couple de sortie mécanique, la vitesse et la position. La plupart des principaux types sont décrits ci-dessous :

- **Moteur à courant continu**

Le moteur CC est un convertisseur électromécanique bidirectionnel qui convertit l'énergie électrique CC en énergie mécanique. Ce moteur génère de l'énergie électrique pour une utilisation ultérieure dans des applications industrielles. Son travail est basé sur le principe de base que lorsqu'un conducteur porteur de courant est placé dans un champ magnétique, une force lui est appliquée et un couple est développé.

- **Moteur Asynchrone**

La machine qui ne tourne jamais à vitesse synchrone est appelée moteur asynchrone ou à induction. Ce moteur utilise un phénomène d'induction électromagnétique pour transformer la puissance électrique en puissance mécanique. Selon la construction du rotor. Il existe deux types de ce moteur, Moteur Asynchrone monophasé et Moteur Asynchrone triphasé.

- **Moteur Synchrone**

La machine qui transforme le courant alternatif en puissance mécanique à la fréquence souhaitée est connue sous le nom de moteur synchrone. Dans le moteur synchrone, la vitesse du moteur est synchronisée avec la fréquence du courant d'alimentation. La vitesse synchrone est mesurée en fonction de la rotation du champ magnétique, et elle dépend de la fréquence et des pôles du moteur.

IV.4.3. Les composants d'un moteur électrique

Le moteur électrique comporte deux parties principales [34]

- **Le stator**

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans les quelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la

fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique.

- **Le rotor**

C'est la partie mobile du moteur, Comme le circuit magnétique du stator, il est placé à l'intérieur du stator, et constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur.

Il tourne à une vitesse inférieure à la vitesse du champ tournant.

Il est placé dans un champ tournant par rapport à lui.

Il doit être feuilleté pour réduire les pertes par courant de Foucault. Parmi les rotors on distingue.

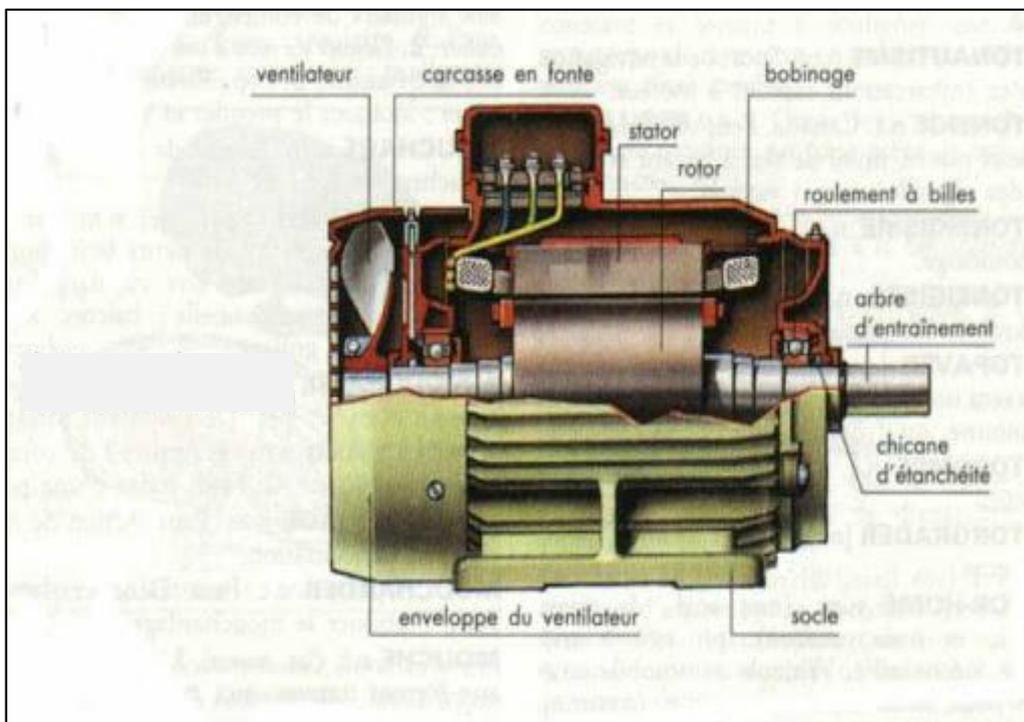


Fig. IV.12. Les différentes composantes d'un moteur électrique

IV.4.4. Principe de fonctionnement d'un moteur électrique

Le fonctionnement du moteur électrique est repose sur la création d'un courant induit dans un conducteur lorsque celui-ci coupe les lignes de force d'un champ magnétique. L'action combinée de ce courant induit et du champ magnétique crée une force motrice sur le rotor du moteur.

Conclusion

Ce chapitre comprenait un aperçu d'équipements essentiel pour l'installation de l'unité CPF qui consomme l'énergie, dans lequel les types, les caractéristiques et les performances sont mentionnés.

Chapitre -V-

AUDIT ÉNERGÉTIQUE DE L'INSTALLATION D'UNITÉ CPF

Introduction

Au fil des années l'Algérie a dépend principalement sur l'énergie gazière et électrique, soit dans les systèmes de vie ou industriel, soit comme substance active dans son économie.

Ce chapitre est consacré à l'analyse de la consommation spécifique d'énergie dans l'installation d'unité CPF et la recherche donc des pertes énergétiques peut se traduire par l'analyse des installations et des équipements énergétiques en service afin d'évaluer l'efficacité énergétique. Ainsi que d'identifier et déceler les principales contraintes qui ne permettent pas aux installations de fonctionner selon les critères de bonne économie d'énergie et d'autre part d'établir les bilans énergétiques des différentes installations.

V.1. Energie thermique

V.1.1. Production de gaz de vente

L'analyse des chiffres relatifs à la production de gaz de vente telle que communiqués par l'unité permet de représenter en figure, l'évolution de la production réelle durant la période 2017-2019.

La production de gaz de vente diminue de 2661 millions Sm^3 en 2017 jusqu'à 1884 millions Sm^3 en 2019, Ce qui représente en moyenne une capacité de production de 53% par rapport à celle nominale de l'ordre de 3577 millions de Sm^3 . est expliqué par la faible charge du gaz brut à traiter.

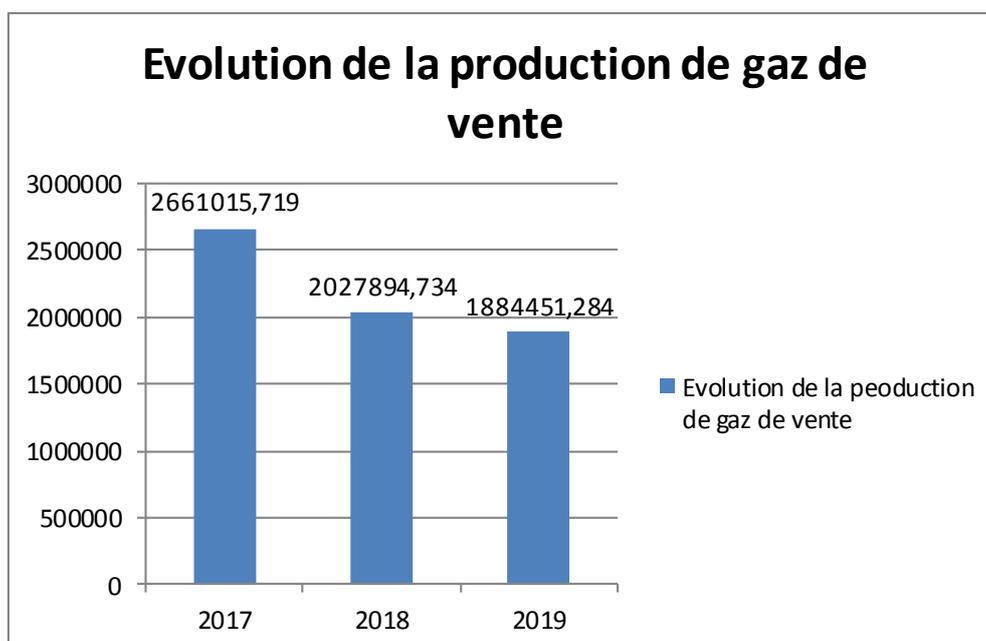


Fig. V.1 : Evolution de la production de gaz de vente

V.1.2. Emission de gaz torché

La figure illustre l'évolution de la perte de gaz de vente, par leur émission atmosphérique à travers les torches. On constate que l'émission de gaz torché par rapport au gaz de vente diminue de 0,75 % en 2017 à 0,431 % en 2018 puis à 0,43 % en 2019, soit une perte moyenne annuelle de 0,54%.

Ce qui représente pour la production de 2019, une perte de gaz de vente de 8,12 millions Sm³.

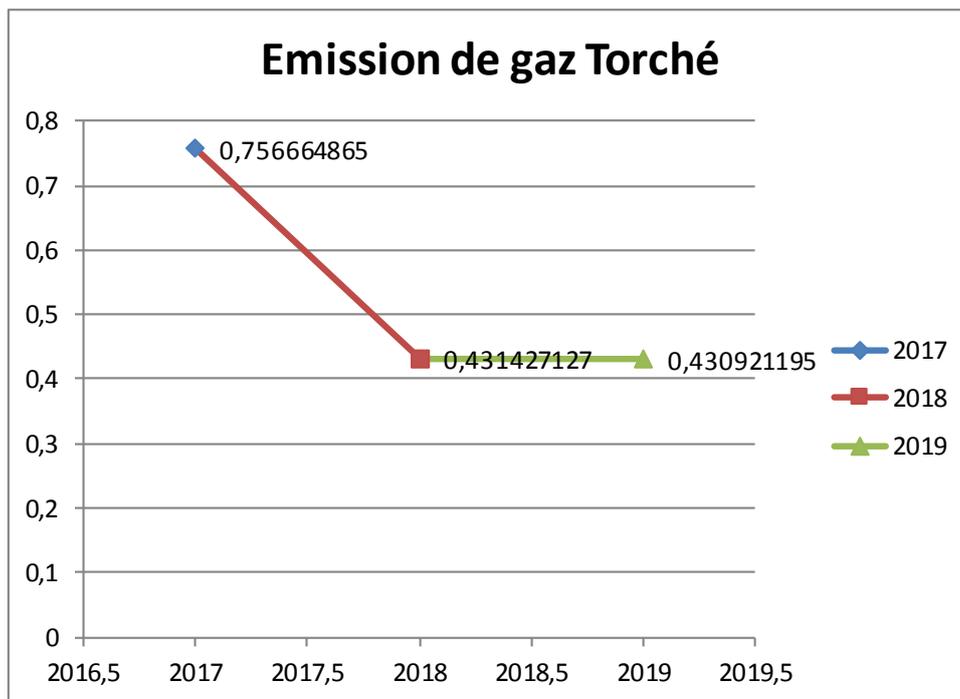


Fig. V.2 : Emission annuelle des gaz torchés

V.1.3. Analyse de la consommation du Fuel gaz

La consommation moyenne annuelle du Fuel gaz du procédé de traitement de gaz durant la période étudiée de ces dernières années 2017-2019, se situe aux environs de 60 millions de Sm³ (figure V.3). On constate que l'évolution de la consommation du Fuel gaz suit la même tendance que celle de la production de gaz de vente (paragraphe ci-dessus). Ce qui donne pour la période étudiée une consommation spécifique de Fuel gaz (Consommation Fuel gaz/ Production gaz de vente) une valeur constante égale à 0,027 Sm³ Fuel gaz/Sm³ gaz de vente.

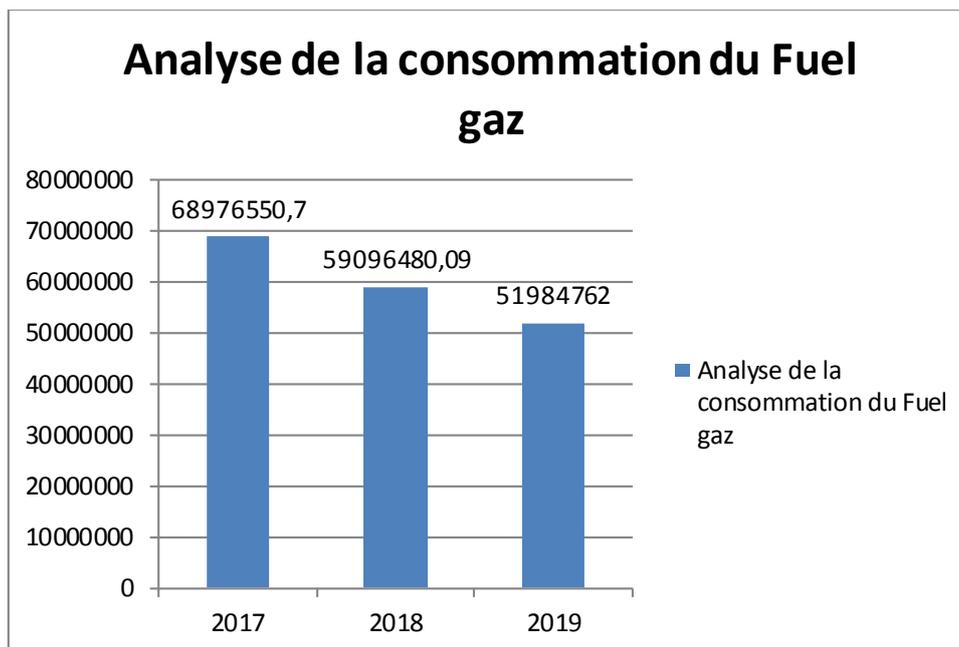


Fig. V.3 : Consommation annuelle du Fuel gaz

V.1.4. Energie calorifique consommée

A partir des données de consommation du Fuel gaz telle que communiquées par l'unité, nous représentons en figure pour la période 2017-2019, l'évolution de la consommation d'énergie calorifique (en millions de thermies) du procédé, calculée sur la base du PCS du Fuel gaz utilisé. La consommation totale d'énergie calorifique durant les 36 mois de cette période, se situe aux environs de 591 millions de thermies.

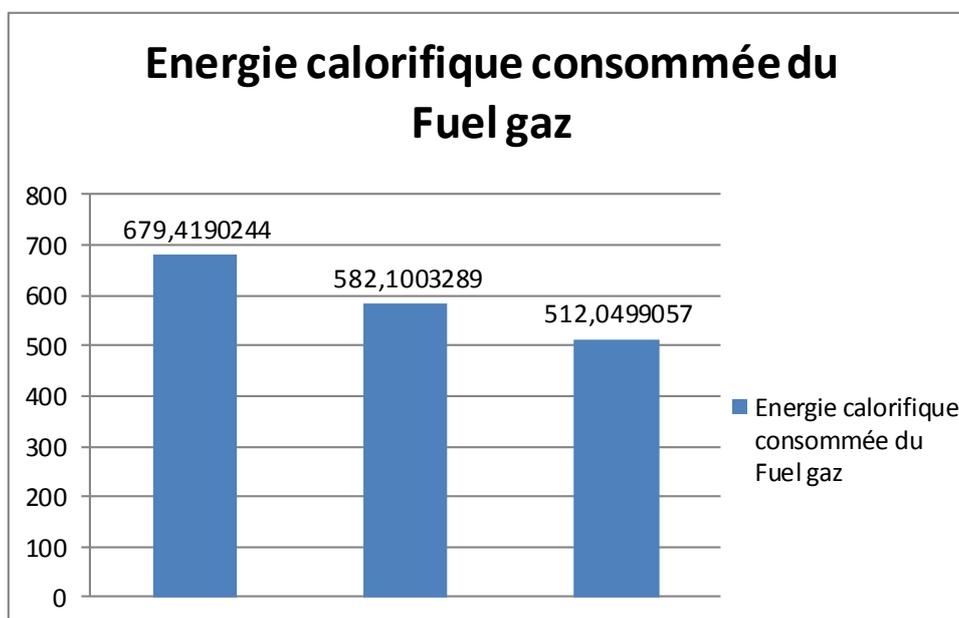


Fig. V.4 : Energie calorifique consommée du Fuel gaz

V.1.5. Intensité énergétique de l'unité

L'intensité énergétique se définit comme le rapport entre la consommation énergétique finale et la production industrielle. Plus l'intensité énergétique diminue, plus l'efficacité énergétique augmente. Soit I l'Intensité Énergétique Industrielle de l'unité, $I=E/P$, E représente la consommation d'Énergie calorifique totale en tonne équivalent pétrole TEP et P la production finale de gaz de vente en Sm^3 . [35] La figure V.5 représente simultanément les évolutions de P , E et I sur la période 2017-2019 étudiée. L'année 2017 (début de la période étudiée) est prise comme ligne de base de 100%. Sur la période étudiée, l'intensité énergétique augmente de 12% en 2018 ensuite diminue 6% en 2019, alors que la production de gaz de vente présente une diminution de 24 % en 2018 et 29% en 2019. Ainsi, on peut dire qu'en dépit de la diminution de production constatée, l'unité présente durant 2018 et 2019 une diminution remarquable dans l'efficacité énergétique.

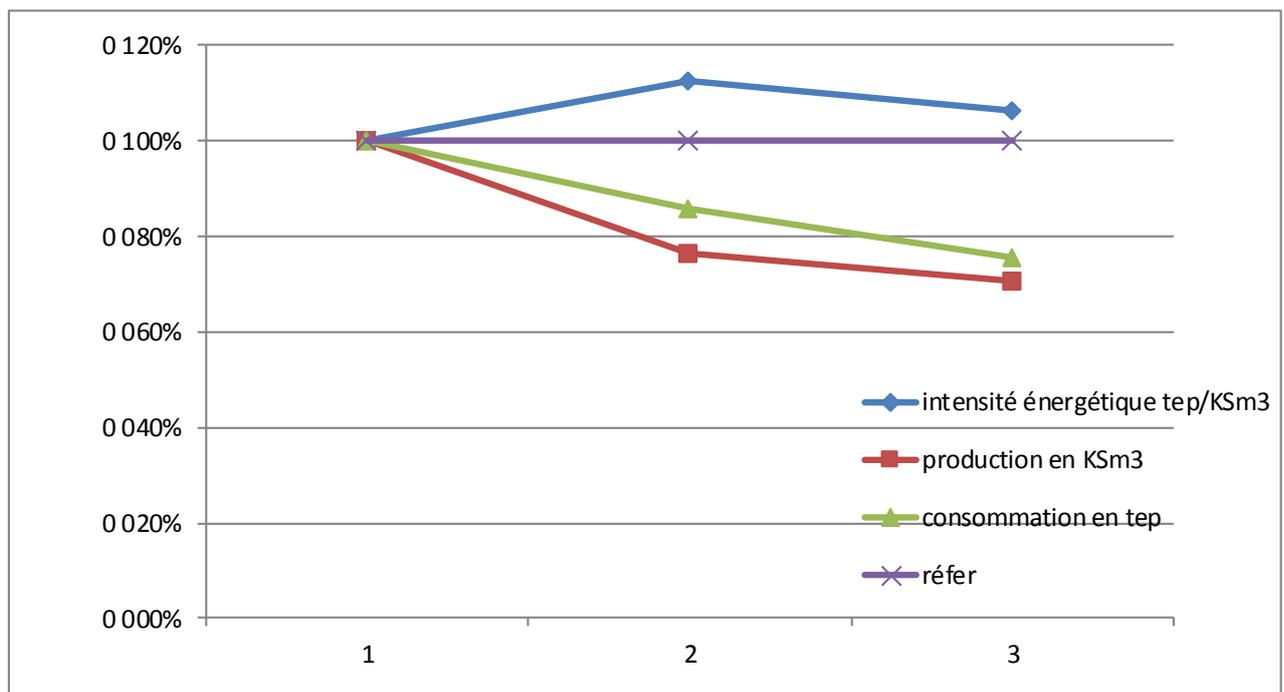


Fig. V.5 : Taux d'évolution de l'intensité énergétique

V.1.6. Evolution de la consommation spécifique d'énergie

Les données relatives à la production de gaz de vente et à la consommation calorifique du Fuel gaz sur la base du PCS, permettent la représentation en figure V.6, la consommation spécifique d'énergie calorifique moyenne annuelle CSE durant la période 2017-2019. La consommation spécifique d'énergie thermique variée d'une année à une autre, elle atteint les valeurs de 255 en 2017 à 287 et 271 Kcal/Sm^3 gaz de vente en 2018 et 2019 respectivement. Ainsi, elle enregistre une valeur moyenne durant cette période de 271 kcal/Sm^3 .

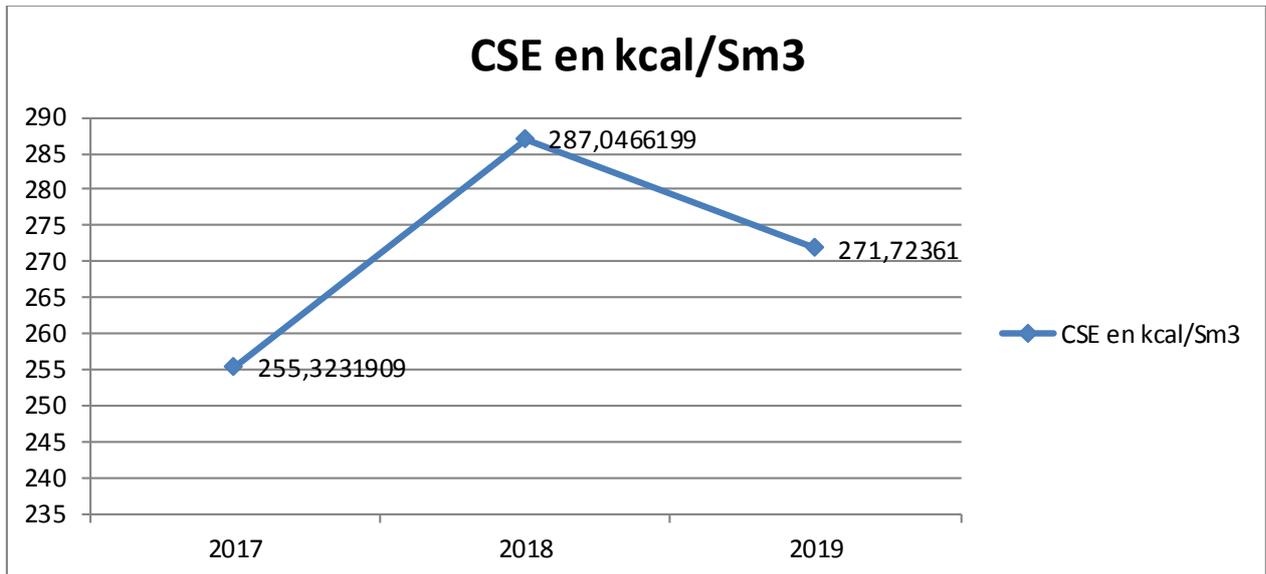


Fig. V.6 : La consommation spécifique d'énergie

Dans le but d'analyser la consommation spécifique d'énergie de l'unité durant une année entière, nous représentons en figure, l'évolution de la CSE mensuelle pour l'année 2019. L'évolution est un peu stable avec des valeurs dispersées autour d'une moyenne de 269 Kcal /Sm³, une diminution remarquable durant le mois de septembre due à un arrêt programmé selon le représentant de l'unité.

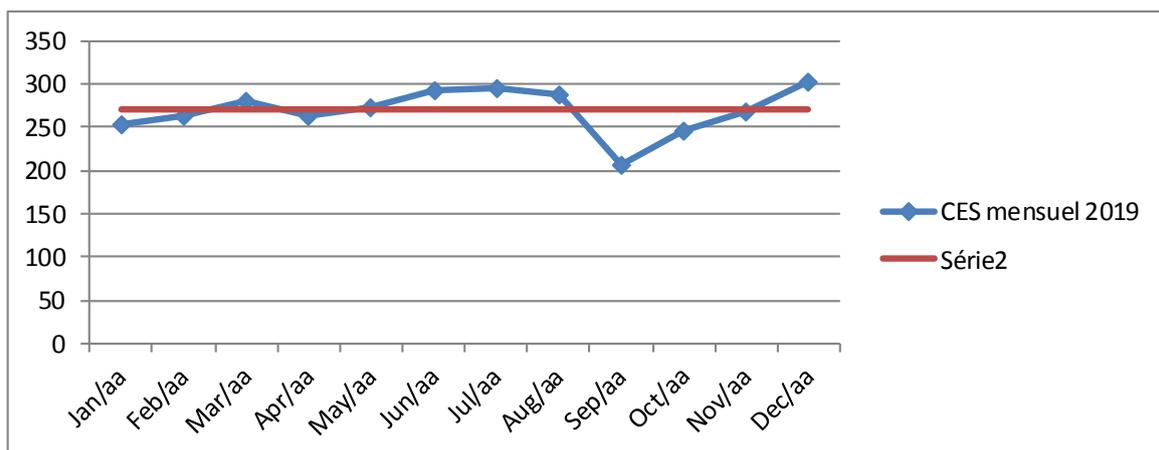


Fig. V.7 : Evolution mensuelle de la CSE thermique 2019

V.1.7. Visite des installations et mode de consommation énergétique

En générale, les installations visitées, présentent un environnement propre et une stabilité de fonctionnement. Toutefois, un potentiel important d'énergie calorifique véhiculé par les fumées de combustion à la sortie des turbines à gaz (boosters et gaz de vente) et le four de régénération de l'unité de séchage et déshydratation du gaz et le four d'huile caloporteuse utiliser pour fournir l'énergie requise aux rebouilleurs du générateur d'amine, à des

températures avoisinant 510, 450 et 330°C est rejetée vers l'atmosphère sans récupération. Aussi, un débit important (55k Sm³/h) de gaz après séchage est transféré gratuitement à une température de 255°C sans récupération vers l'aéroréfrigérant pour un éventuel refroidissement. Deux unités de récupération de chaleur résiduelle (Waste Heat Recovery Unit-WHRU) ont installées sur chaque turbine des compresseurs boosters dans une proportion de 70 à 73 % du besoin total d'énergie d'huile caloporteuse. Isolation thermique parfaite presque de toutes les installations, à l'exception des sections de jonction entre les conduites d'évacuation des gaz de combustion des turbines à gaz. Deux turbines à gaz marchent à vide due à la chute de production de l'installation, aussi en a remarqué que le four d'huile caloporteuse est en service minimum suite à l'arrêt de l'unité de décarbonatation depuis février 2018 !!!

V.1.7.1. Instrumentation et automation

- ✓ l'indisponibilité d'analyseurs d'oxygène dans les fumées de combustion à la sortie des fours pour le contrôle et la régulation d'air et de combustible ;
- ✓ Absence d'analyse des gaz de combustion du four et des turbines à gaz ;
- ✓ Absence d'analyse du gaz brut à l'alimentation des ballons triphasiques de séparation ;
- ✓ Absence de quelques instruments de mesure, en particulier le débit du fuel gaz et le débit d'air à l'entrée des turbines à gaz.

V.1.7.2. Mesures et relevés des paramètres opératoires

Les paramètres opératoires sont relevés directement in situ sur les instruments de mesure et de contrôle des installations et les systèmes de contrôle au niveau de la salle de contrôle. Les données non relevées sont estimées soit à partir des spécifications de fonctionnement des installations, soit mesurées directement sur site. Les températures des surfaces externes des installations et équipements sont mesurées par un pyromètre infrarouge. Cet appareil de mesure est aussi utilisé pour la mesure de la température de l'environnement interne de la chauffe des fours. La température de l'air ambiant, son degré hygrométrique et sa vitesse à son introduction dans les fours sont mesurées par un anémomètre digital à plusieurs fonctions. L'analyse des gaz de combustion (fumées) des fours et turbines à gaz est effectuée par l'équipe du laboratoire.

V.1.7.3. Bilans massiques des installations

Les figures représentées ci-après, donnent les bilans massiques, des turbines à gaz des boosters et de compression de gaz de vente ainsi que du four de régénération et d'huile caloporteuse. Les débits des différents courants de matière sont exprimés en Kg/h. Pour les turbines à gaz, le débit d'air introduit dans le compresseur est calculé sur la base d'un même débit spécifique (Kg air /Kg fuel gaz) que celui du design. Le débit d'air pour le refroidissement du bloc et l'enceinte de la turbine à gaz est supposé égal à 5% par rapport à l'air introduit dans le compresseur. Le débit d'air stœchiométrique de combustion des turbines à gaz correspond respectivement à 15 et 12% pour les boosters et de compression de gaz de vente.

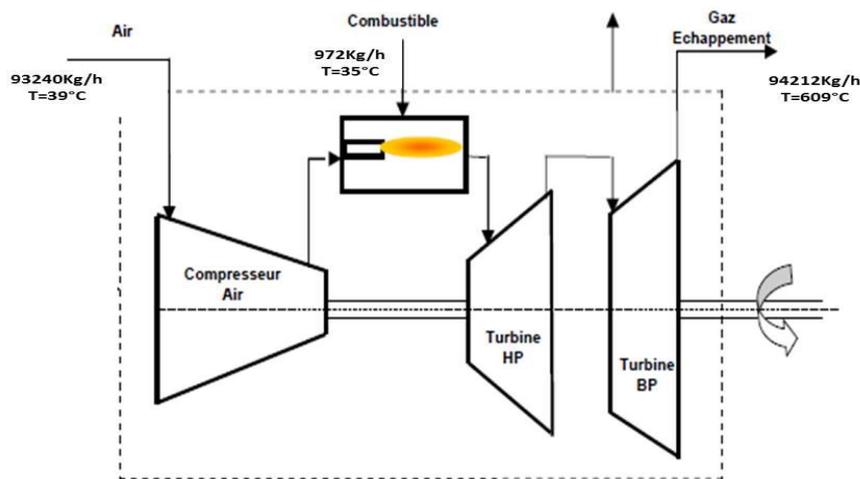


Fig. V.8 : Bilan massique de la turbine à gaz booster 1

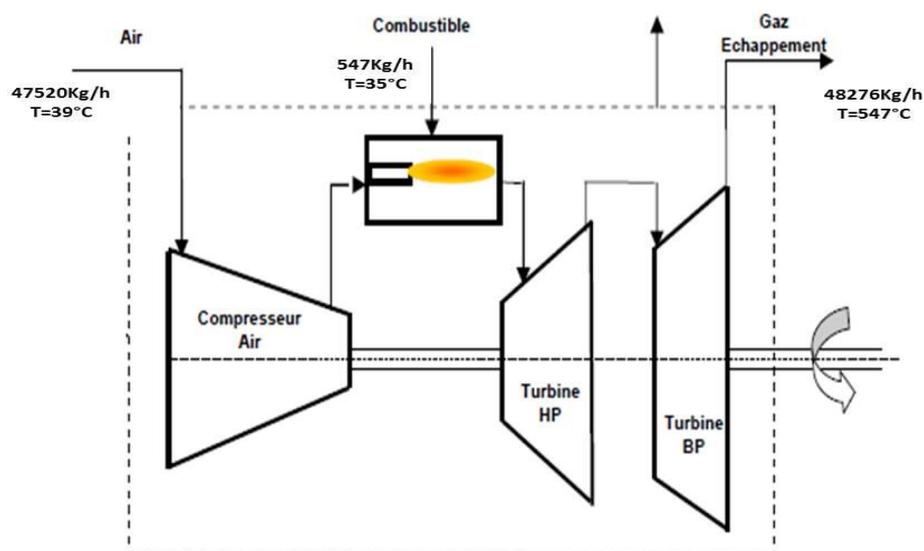


Fig. V.9 : Bilan massique de la turbine à gaz de compression de gaz de vente

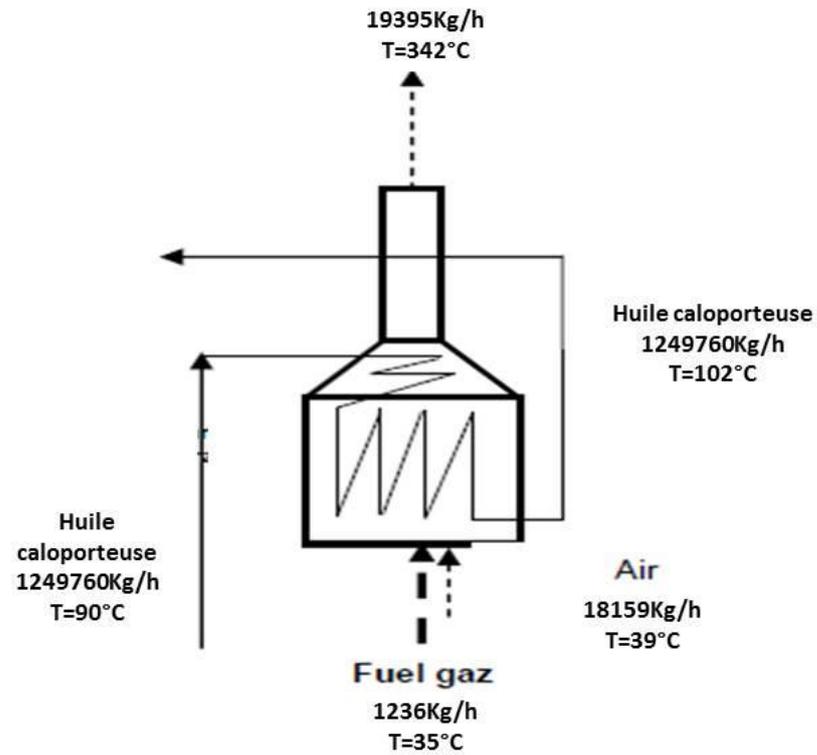


Fig. V.10 : Bilan massique four d'huile caloporteuse

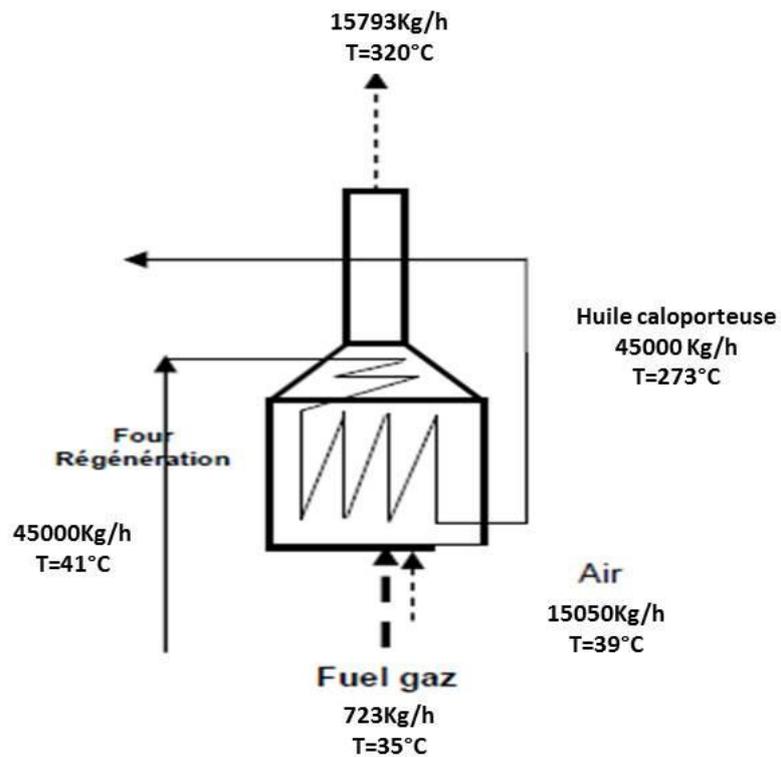


Fig. V.11 : Bilan massique four de gaz de régénération

V.1.7.4. Bilans énergétiques des installations

Le calcul des différents flux de chaleur a permis l'établissement des bilans énergétiques des différentes installations. L'origine des enthalpies a été prise à la température ambiante (39°C), Les figures suivantes représentent le diagramme des flux énergétiques en (%). Le rendement calculé (34% et 28%) pour les turbines à gaz est inférieur aux rendements que ceux proposés par le constructeur (36 et 31%). Le rendement total de la turbine booster atteint 55% avec l'utilisation des récupérateurs de chaleur installés. La combustion du Fuel gaz représente 100% de la consommation totale d'énergie pour toutes les installations.

La chaleur récupérée par l'air de refroidissement du bloc et de l'enceinte externe de la chambre de combustion est négligeable (température de sortie d'air supérieure de 4°C par rapport à l'ambiance). La perte thermique globale à travers les parois externes des turbines est négligeable, par contre celle des fours est supposée égale 2% selon le design.

V.1.8. Calculs effectué des turbines à gaz en charge

- Données [36]

| Données | TURBINE BOOSTER | TURBINE GDV |
|---|-----------------|-------------|
| Température d'entrée de l'air : T1 (°K) | 312 | 312 |
| La température à la sortie du compresseur T2 (°K) | 645 | 618 |
| Pression d'entrée de l'air : P ₁ (bar) | 1 | 1 |
| Pression de refoulement : P ₂ (bar) | 9.95 | 7.48 |
| Débit massique de l'air : q _{ma} (Kg/s) | 25.9 | 13.2 |
| Chaleur massique de l'air : Cp (KJ / Kg K) | 1.0045 | 1.0045 |
| Coefficient isentropique de l'air | 1.4 | 1.4 |
| PCI COMBUSTIBLE (KJ/Kg) | 46830 | 46830 |
| Cp COMBUSTIBLE (KJ/Kg K) | 1.35 | 1.35 |
| T FIRE T3 (K) | 1380 | 1272 |
| Rendement de la chambre de combustion | 0.97 | 0.97 |
| P4 (bar) | 2.3 | 1.8 |
| Coefficient isentropique du combustible | 1.346 | 1.346 |
| T4 (K) | 1005 | 972 |
| P5 (bar) | 1.32 | 0.9 |
| T5 (K) | 882 | 820 |
| Débit de combustible (Kg/s) | 0.27 | 0.21 |

| | | |
|--|------|------|
| Rendement η_{tl} | 0.98 | 0.98 |
| T après récupérateur de chaleur T5'' (K) | 810 | |

Tableau V.1 : Les données des calculs effectués des turbines

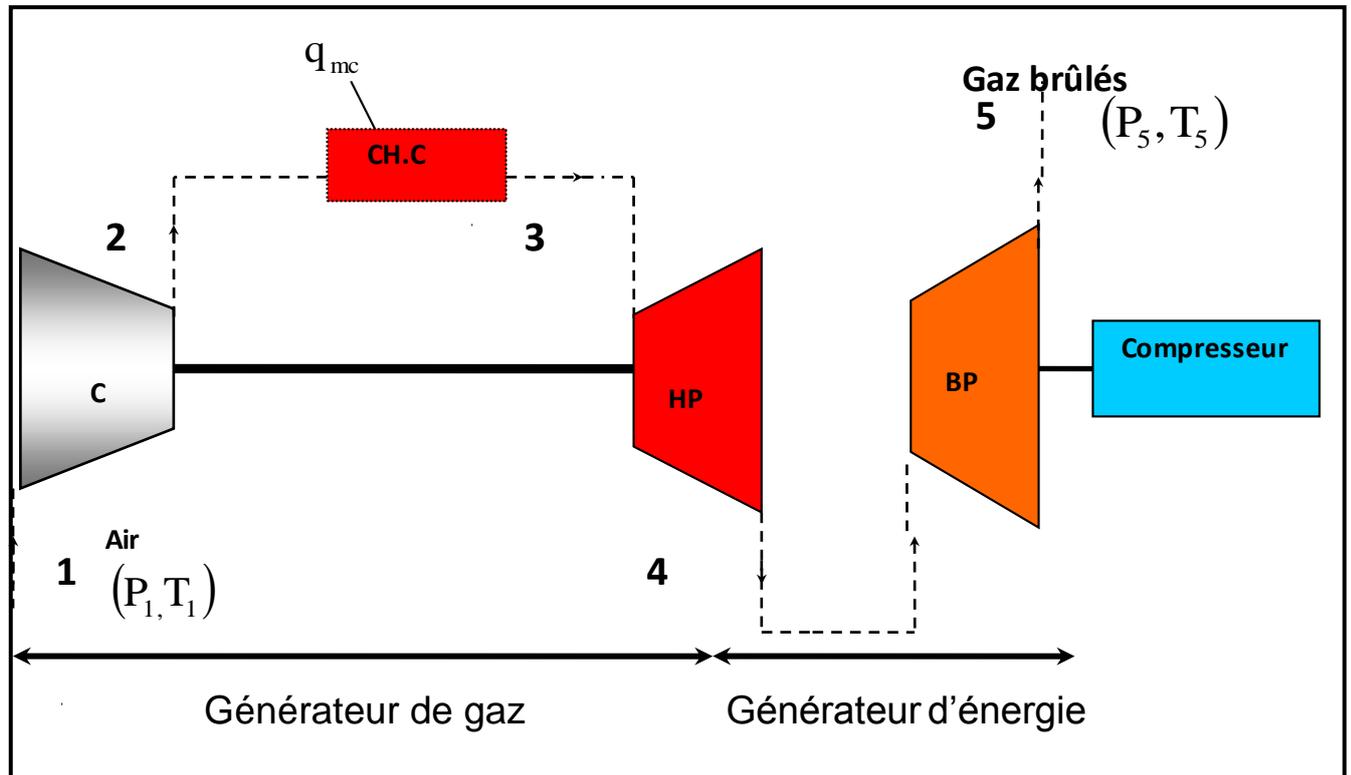


Fig.V.12 : Schéma simple d'une turbine à gaz à deux arbres

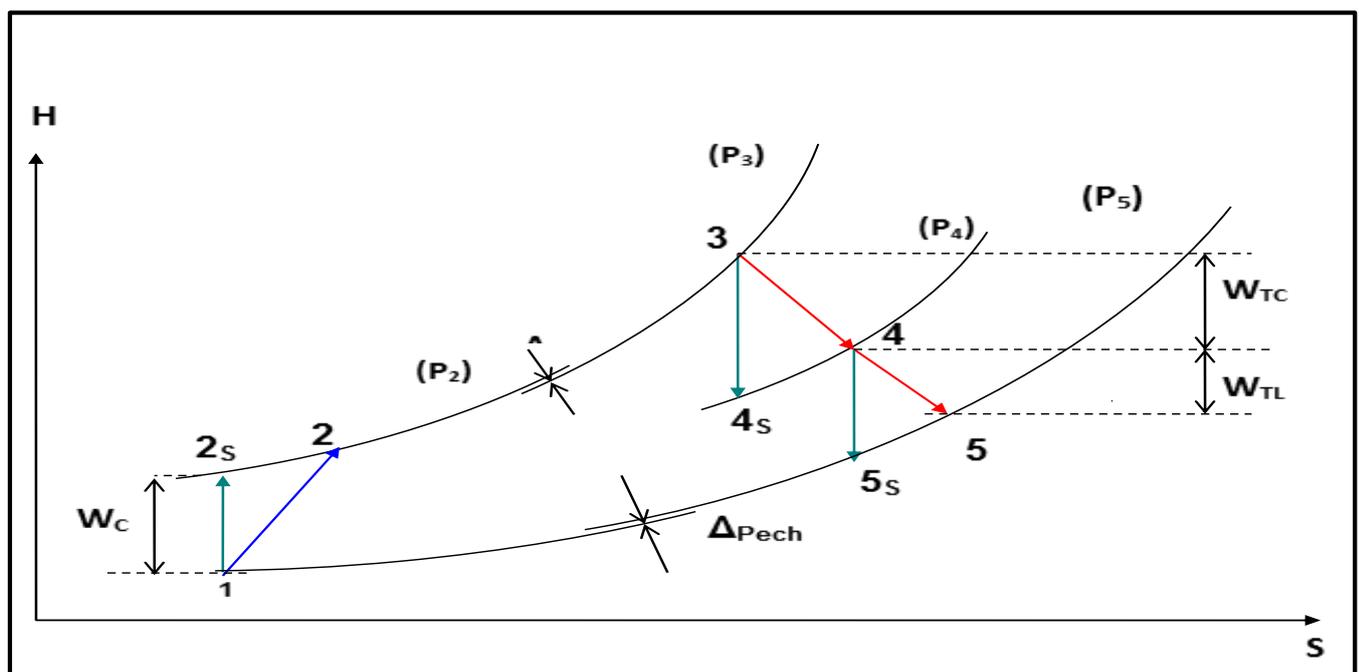


Fig.V.13 : Cycle thermodynamique simple d'une turbine à gaz à deux arbres Diagramme H-S

* Dans le diagramme (H-S) de la figure ci-dessus sont représentés à la fois le cycle idéal (isentropique : 1, 2_s, 3_s, 4_s, 5_s) et le cycle réel (1, 2, 3, 4,5).

* Les opérations réelles s'effectuent toujours avec une augmentation d'entropie, cela signifie que la compression se termine en 2 au lieu 2_s, et la première détente en 4_s, et la deuxième détente en 5_s.

1. Turbine booster 1

1- 2. Compresseur : compression adiabatiques

La compression est adiabatique de l'air ambiant par le compresseur, la pression de service passe de P₁ à P₂, s'accompagne d'un échauffement de T₁ à T₂.

La puissance absorbée par le compresseur est proportionnelle au débit d'air et à l'échauffement mesuré.

$$P_C = C_p \cdot q_{ma} (T_2 - T_1) \quad \dots (1.1)$$

$$P_C = 1,0045 * 25,9 * (372 - 312) = 8663.5111 \text{ KW}$$

* La température théorique (T_{2s}) à la sortie du compresseur

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (1.2) \quad \text{Avec } \gamma : (\text{le coefficient isentropique de l'air})$$

$$T_{2s} = 312 \left(\frac{9.95}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 601.516 \text{ K}$$

* Le travail isentropique du compresseur

$$W_{ISC} = h_{2s} - h_1 = C_{pa}(T_{2s} - T_1) \quad \dots (1.3)$$

$$W_{ISC} = 1.0045(601.516 - 312) = 290.818 \text{ KJ/Kg}$$

* Le travail réel du compresseur

$$W_r = h_2 - h_1 = C_{pa} (T_2 - T_1) \quad \dots (1.4)$$

$$W_r = 1.0045 (372 - 312) = 334.4985 \text{ KJ/Kg}$$

* le rendement isentropique du compresseur

$$\eta_c = \frac{W_{isc}}{W_r} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{C_{pa}(T_{2s} - T_1)}{C_{pa}(T_2 - T_1)} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad \dots (1.5)$$

$$\eta_c = \frac{290.818}{334.4985} = 0.869 = 86.9 \%$$

2- 3. Chambre de combustion : combustion isobare

La combustion se fait à pression constante, la quantité de carburant brûlé en présence d'une quantité d'air nécessaire à la combustion, la température s'accroît de T_1 à T_2 .

La quantité de chaleur dégagée par la combustion du mélange gazeux est donnée par la relation :

$$Q_{23} = \eta_{chc} \text{ PCI } q_{mc} \quad \dots (1.6)$$

$$Q_{23} = 0.97 * 46830 * 0.27 = 12264.777 \text{ KW}$$

η_{chc} : Rendement de la chambre de combustion : $\eta_{chc} = 0.97$

PCI : Pouvoir calorifique inférieur du carburant (KJ/Kg).

q_{mc} : Débit massique du combustible (Kg/s).

* **Définition du PCI** : (C'est la chaleur dégagée par la combustion complète de 1m^3 de combustible gazeux, donc la quantité maximale de chaleur libérable dans la chambre de combustion.) C'est la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion d'un kilogramme de combustible, s'il est à l'état solide ou liquide, ou de 1Nm^3 s'il est à l'état gazeux, dans les conditions normales de température et de pression.

3 - 4 .Turbine haute pression (HP) : première Détente adiabatique

Les gaz chauds à la température T_3 et à la pression P_3 (P_3 légèrement inférieure à P_2) se détendent jusqu'aux conditions T_4 et P_4 .

Le rôle de cette turbine est d'entraîner le compresseur et les auxiliaires, ainsi pour vaincre la résistance des paliers et fournir du travail à la turbine libre.

L'ensemble du compresseur, chambres de combustion et la turbine haute pression a pour but de fournir un débit q_{mc} (Kg/s) de gaz à la pression P_4 et à la température T_4 qui seront utilisés Par la turbine de puissance.

* Calcul de la température isentropique de la turbine (HP)

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{4s} = T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots \quad (1.7)$$

Avec :

$$P_3 = P_2 (1 - \Delta P_{23}) = 9.95 (1 - 0.03) = 9.6515 \text{ bar}$$

$$T_{4s} = 1380 \left(\frac{2.3}{9.6515} \right)^{\frac{1.346-1}{1.346}} = 954.478 K$$

* Calcul du rendement de la turbine (HP)

$$\eta_{\text{ist}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \quad \dots \dots \dots (1.8)$$

$$\eta_{\text{ist}} = \frac{1380 - 1005}{1380 - 954.478} = 0.881 = 88.1\%$$

4 - 5. Turbine basse pression : Deuxième détente adiabatique

Dans cette turbine, se faite la deuxième détente des gaz chauds, elle montée sur une ligne

D'arbre indépendant de celle du générateur de gaz, elle utilise la chute de pression de P₄ à P₅ à laquelle correspondent les températures T₄ et T₅ qui donnent sur l'arbre une puissance utile.

* Calcul de la température théorique

$$\frac{T_{5s}}{T_4} = \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{5s} = T_4 \cdot \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots \quad (1.9)$$

$$T_{5s} = 1005 \left(\frac{1.32}{2.3} \right)^{\frac{1.346-1}{1.346}} = 871.316 K$$

* Calcul du rendement de la turbine BP

$$\eta_{\text{istl}} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5s}} \quad \dots \quad (1.10)$$

$$\eta_{\text{istl}} = \frac{1005 - 882}{1005 - 871.316} = 0.920 = 92\%$$

* Calcul de la puissance effective de la turbine libre

$$P_{\text{effl}} = q_{\text{mt}} \cdot h_4 - h_5 \cdot \eta_{\text{tl}} = q_{\text{mt}} \cdot C_{\text{pC}} \cdot (T_4 - T_5) \eta_{\text{tl}} \quad \dots (1.11)$$

$$P_{\text{effl}} = (25.9 + 0.27) * 2.16(1005 - 882)0.98 = 4258.617 \text{ KW}$$

* Calcul du rendement thermique de la turbine

$$\eta_{\text{th}} = \frac{P_{\text{effl}}}{Q_{\text{ch}}} \quad \dots (1.12)$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{4258.617}{12264.777} = 0.3472 = 34.72\%$$

* Calcul de la puissance effective de la turbine + récupérateur

$$P_{\text{eff installa}} = q_{\text{mt}} \cdot h_4 - h_5'' \cdot \eta_{\text{tl}} = q_{\text{mt}} \cdot C_{\text{pC}} \cdot (T_4 - T_5'') \eta_{\text{tl}} \quad \dots (1.13)$$

$$P_{\text{eff installa}} = (25.9 + 0.27)1.35(1005 - 810)0.98 = 6751.0467 \text{ KW}$$

* Calcul du rendement thermique de l'installation

$$\eta_{\text{th installa}} = \frac{P_{\text{eff installa}}}{Q_{\text{ch}}} \quad \dots (1.14)$$

$$\eta_{\text{th installa}} = \frac{6751.467}{12264.777} = 0.5504 = 55.04\%$$

2. Turbine gaze de vente

* La puissance absorbée par le compresseur

$$P_c = C_p \cdot q_{\text{mc}} (T_2 - T_1) \quad \dots (2.1)$$

$$P_c = 1,0045 * 0,21 * (618 - 312) = 2646.602 \text{ KW}$$

* La température théorique (T_{2s}) à la sortie du compresseur

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (2.2) \quad \text{Avec } \gamma : (\text{le coefficient isentropique de l'air})$$

$$T_{2s} = 312 \left(\frac{7.48}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 554.422K$$

* Le travail isentropique du compresseur

$$W_{isc} = h_{2s} - h_1 = C_{pa}(T_{2s} - T_1) \quad \dots (2.3)$$

$$W_{isc} = 1.0045(554.422 - 312) = 243.513KJ/Kg$$

* Le travail réel du compresseur

$$W_r = h_2 - h_1 = C_{pa}(T_2 - T_1) \quad \dots (2.4)$$

$$W_r = 1.0045(618 - 312) = 307.377 KJ/Kg$$

* Le rendement isentropique du compresseur

$$\eta = \frac{W_{isc}}{W_r} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{C_{pa}(T_{2s} - T_1)}{C_{pa}(T_2 - T_1)} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad \dots (2.5)$$

$$\eta_c = \frac{243.513}{307.377} = 0.792 = 79.2 \%$$

* La quantité de chaleur dégagée par la combustion du mélange gazeux est donnée par la relation :

$$Q_{23} = \eta_{chc} \text{ PCI } q_{mc} \quad \dots (2.6)$$

$$Q_{23} = 0.97 * 46830 * 0.21 = 9539.271 KW$$

* Calcul de la température isentropique de la turbine (HP)

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (2.7)$$

Avec :

$$P_3 = P_2 (1 - \Delta P_{23}) = 7.48 (1 - 0.03) = 7.2556 \text{ bar}$$

$$T_{4s} = 1272 \left(\frac{1.8}{7.2556} \right)^{\frac{1.346-1}{1.346}} = 888.923K$$

*Calcul du rendement de la turbine (HP)

$$\eta_{\text{ist}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \quad \dots\dots (2.8)$$

$$\eta_{\text{ist}} = \frac{1272 - 972}{1272 - 888.923} = 0.783 = 78.3\%$$

* Calcul de la température théorique

$$\frac{T_{5s}}{T_4} = \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_{5s} = T_4 \cdot \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots (2.9)$$

$$T_{5s} = 972 \left(\frac{0.9}{1.8} \right)^{\frac{1.346-1}{1.346}} = 813.362K$$

* Calcul du rendement de la turbine BP

$$\eta_{\text{istl}} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5s}} \quad \dots (2.10)$$

$$\eta_{\text{istl}} = \frac{972 - 820}{972 - 813.362} = 0.958 = 95.8\%$$

* Calcul de la puissance effective de la turbine libre

$$P_{\text{effl}} = q_{\text{mt}} \cdot h_4 - h_5 \cdot \eta_{\text{tl}} = q_{\text{mt}} \cdot C_{pC} \cdot (T_4 - T_5) \eta_{\text{tl}} \quad \dots (2.11)$$

$$P_{\text{effl}} = (13.9 + 0.21)1.35(972 - 820)0.98 = 2696.697KW$$

* Calcul du rendement thermique de la turbine

$$\eta_{\text{th}} = \frac{P_{\text{effl}}}{Q_{\text{ch}}} \quad \dots(2.12)$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{2696.697}{9539.271} = 0.28 = 28\%$$

V.1.9. Calculs effectués des fours

- Données [36]

| Données | four de régénération du gaz | four d'huile caloporteuse |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| Débit massique du fluide dans le four (Kg/h) | 45000 | 1249760 |
| Chaleur spécifique du fluide dans le four (Kcal/kg °C) | 0.5964 | 0.578 |
| Température du fluide à la sortie du four (°C) | 273 | 102 |
| Température de du fluide à l'entrée du four (°C) | 41 | 90 |
| Pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz (kcal/kg) | 11192 | 11192 |
| Débit du fuel gaz (max) (Kg/h) | 723 | 1236 |

Tableau V.2 : Les données des calculs effectués des fours

1. Calcul effectué de four de régénération du gaz

* Calcul le rendement de fours

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_L} \quad \dots\dots (1.1)$$

Q_{abs} : Quantité de chaleur absorbée (Kcal/h)

Q_L : Quantité de chaleur libérée (Kcal/h)

* Calcul de la quantité de chaleur absorbée

$$Q_{Abs} = m * C_{P_{moy}} * (T_S - T_E) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

✓ m : débit massique de gaz de régénération dans le four (Kg/h)

✓ $C_{p_{moy}}$: chaleur spécifique de gaz de régénération dans le four (Kcal/kg°C)

✓ T_S : température de gaz de régénération à la sortie du four (°C)

✓ T_E : température de gaz de régénération à l'entrée du four (°C)

$$Q_{Abs} = 4500 * 0.5964 * (273 - 41) = 6226416 \text{ Kcal} / h$$

* Calcul de la quantité de chaleur libérée

$$Q_L = D_{FG} * PCI \quad \dots (1.3)$$

✓ PCI : Pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz (kcal/kg)

✓ D_{FG} : Débit du fuel gaz (max) (Kg/h)

$$Q_L = 723 * 11192 = 8091816 \text{ Kcal / h}$$

Donc le rendement de fours

$$\eta = \frac{66226416}{8091816} = 0.769470784 = 76.94\%$$

2. Calcul effectué de four d'huile caloporteuse

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_L} \quad \dots (2.1)$$

* Calcul de la quantité de chaleur absorbée

$$Q_{Abs} = m * C_{P_{moy}} * (T_S - T_E) \quad \dots (2.2)$$

$$Q_{Abs} = 1249760 * 0.578 * (102 - 90) = 8668335.36 \text{ Kcal / h}$$

* Calcul de la quantité de chaleur libérée

$$Q_L = D_{FG} * PCI \quad \dots (2.3)$$

$$Q_L = 1236 * 11192 = 13833312 \text{ Kcal / h}$$

Donc le rendement de fours

$$\eta = \frac{8668335.36}{13833312} = 0.626627619 = 62.66\%$$

V.1.10. Présentation des bilans énergétiques

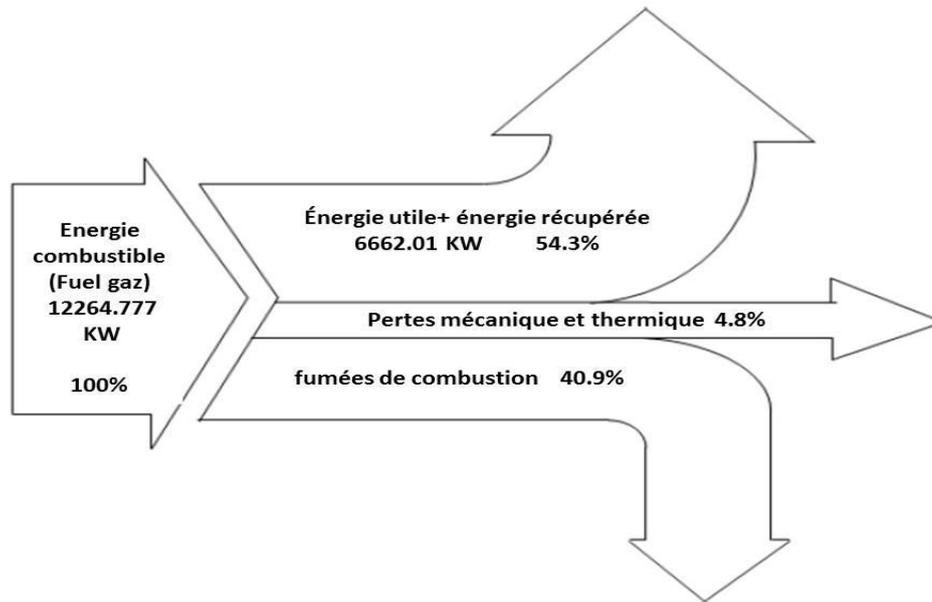


Fig. V.14 : Diagramme des flux de chaleur de la turbine booster

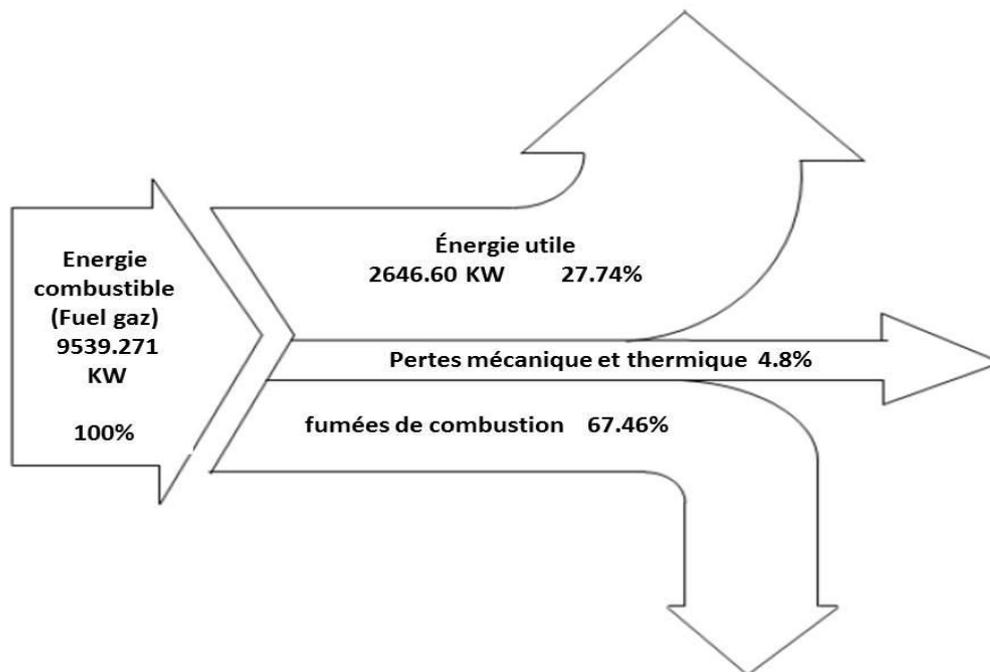


Fig. V.15 : Diagramme des flux de chaleur de la turbine gaz de vente

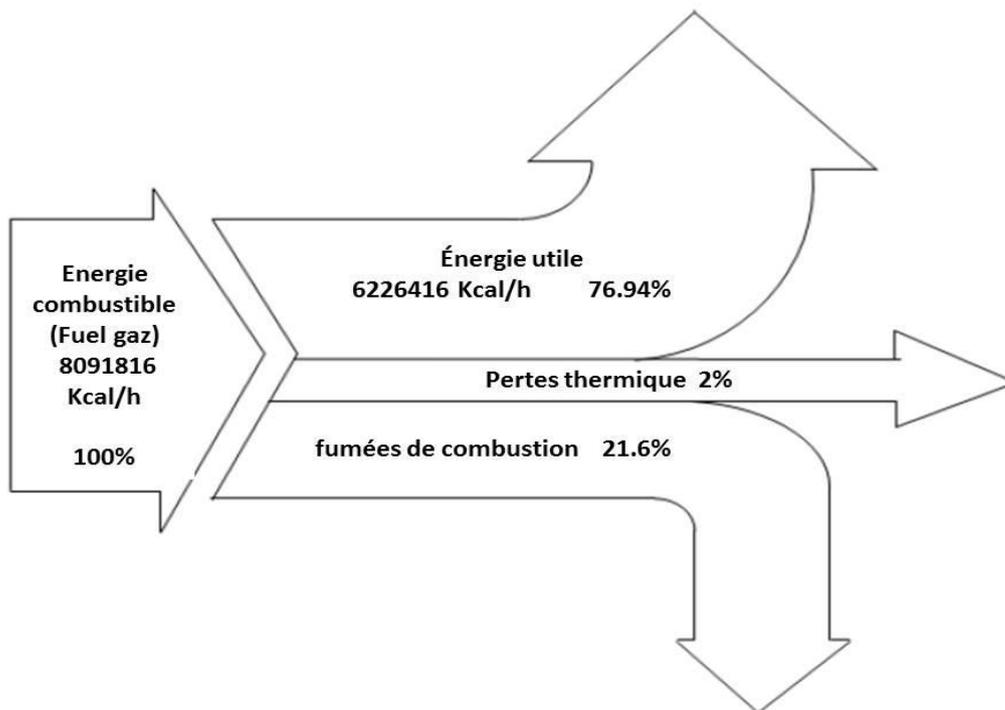


Fig. V.16 : Diagramme des flux de chaleur du four de régénération

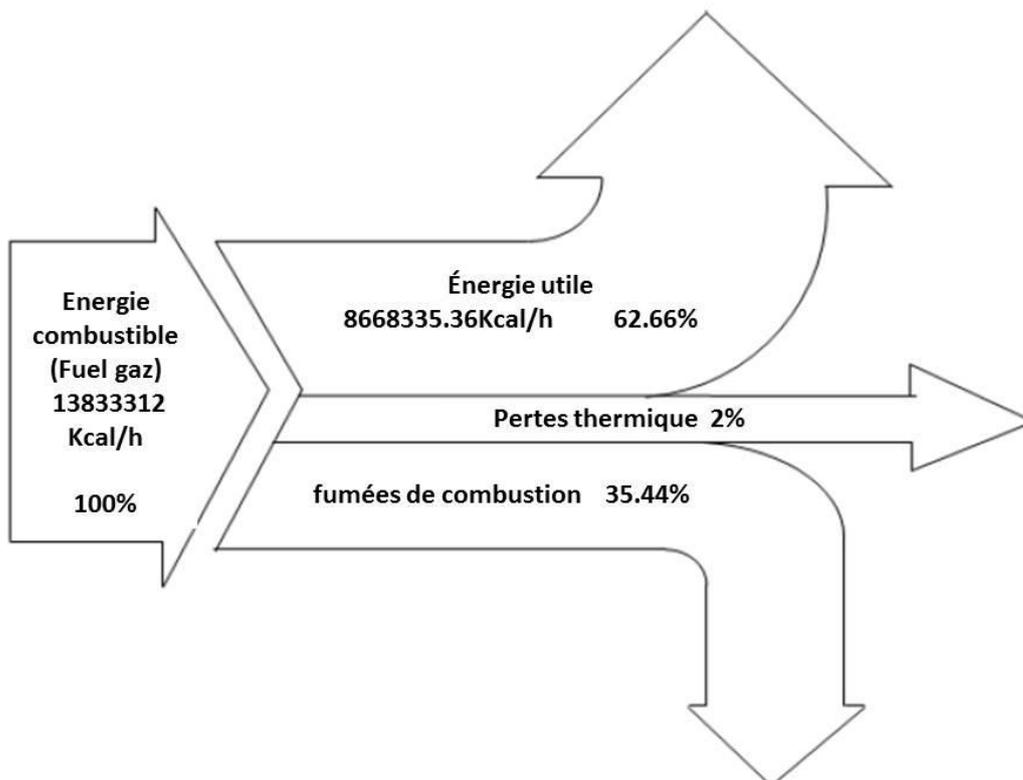


Fig. V.17 : Diagramme des flux de chaleur du four d'huile caloporteuse

V.1.11. Recommandations d'économie d'énergie

Une efficacité énergétique d'un procédé se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même fonctionnement. Elle permet d'évoluer vers une optimisation meilleure et une exploitation plus rationnelle des installations. Ainsi, notre tâche consiste à identifier pour le procédé étudié l'imperfection de certaines parties de l'installation qui peuvent s'atténuer avec l'amélioration de celles-ci. Ensuite de valoriser la récupération du contenu énergétique des rejets, tels que les gaz d'échappement des turbines. Enfin, l'identification et la caractérisation des pratiques technologiques d'amélioration de l'efficacité énergétique déterminent le potentiel de l'impact de ces mesures.

V.1.12. Diminution de la consommation du Fuel gaz des turbines

Comme nous l'avons souligné au bilan énergétique des turbines, le rendement des turbines (34%, 27%) est inférieur à celle prévue par le design (36%, 30%). Un contrôle rigoureux du débit d'air introduit ainsi que celui du Fuel gaz peut atténuer cette surconsommation, l'analyse fréquente des gaz des fumées peut aussi aide à identifier les problèmes de la combustion. Et d'éviter la mise en service des turbines à vide (la turbine booster 1 et GDV 2 marchent à vide depuis la fin de l'année 2018)

V.1.13. Optimisation de la combustion du Fuel gaz du four

L'optimisation de la combustion se fait au niveau des brûleurs du four et plus particulièrement au niveau de la quantité d'air introduite pour la combustion du gaz. En effet, il faut savoir que plus l'excès d'air est important plus le rendement de combustion est faible et par conséquent plus la température des gaz d'évacuation et les pertes par ces gaz sont élevées. Pour que la combustion soit complète et optimisée, il faut choisir le plus petit excès d'air pour lequel la combustion est complète c'est-à-dire avec une teneur en monoxyde de carbone (CO) nulle. Les données actuelles de combustion du gaz naturel dans le four font apparaître en moyenne un taux d'excès d'air de 24%.

Ceci peut être notamment attribué :

- A l'absence d'analyse d'O₂ dans les gaz d'évacuation ;
- A l'insuffisance d'instrumentation de mesure, d'analyse et de contrôle de régulation d'air et de combustible :
- Au mode de fonctionnement des installations d'aspiration d'air de combustion et de gaz d'évacuation ne sont pas modulés en fonction de la puissance calorifique. Ainsi, pour une diminution de l'excès d'air et donc de la teneur en oxygène (O₂) dans les gaz d'évacuation, en

vérifiant bien que la teneur en CO reste nulle, l'économie réalisable est d'environ 2 Kcal/Kg par % d'excès d'air.

De plus, pour une meilleure intensification du processus de combustion et de transfert thermique dans la zone de radiation, il est recommandé d'augmenter le contrôle de la combustion avec une planification d'un réglage optimal des brûleurs actuels.

V. 1.14. Récupération calorifique des gaz d'échappement des turbines

L'analyse énergétique présentée a révélé qu'un potentiel calorifique important des gaz d'échappement des turbines de compression de gaz de vente est rejeté dans l'atmosphère. A cet effet différentes configurations de récupération d'énergie, utilisant une isolation thermique adéquate pour les conduites du gaz, sont envisageables.

V.1.14.1. Surchauffage d'air

La première configuration d'exploitation rationnelle du potentiel calorifique des gaz d'échappement des turbines, consiste à installer **un échangeur de chaleur de type air-gaz** pour surchauffer l'air avant son entrée dans la chambre de combustion (figure V.18). Cet échange de chaleur d'efficacité supposée égale à 70%, permet à l'air comburant et aux gaz d'échappement d'atteindre ensemble une température commune de l'ordre de **300°C** à la sortie. Ainsi, cette configuration du procédé permet l'amélioration du rendement thermique intrinsèque et en conséquence la réduction de la consommation spécifique d'énergie.

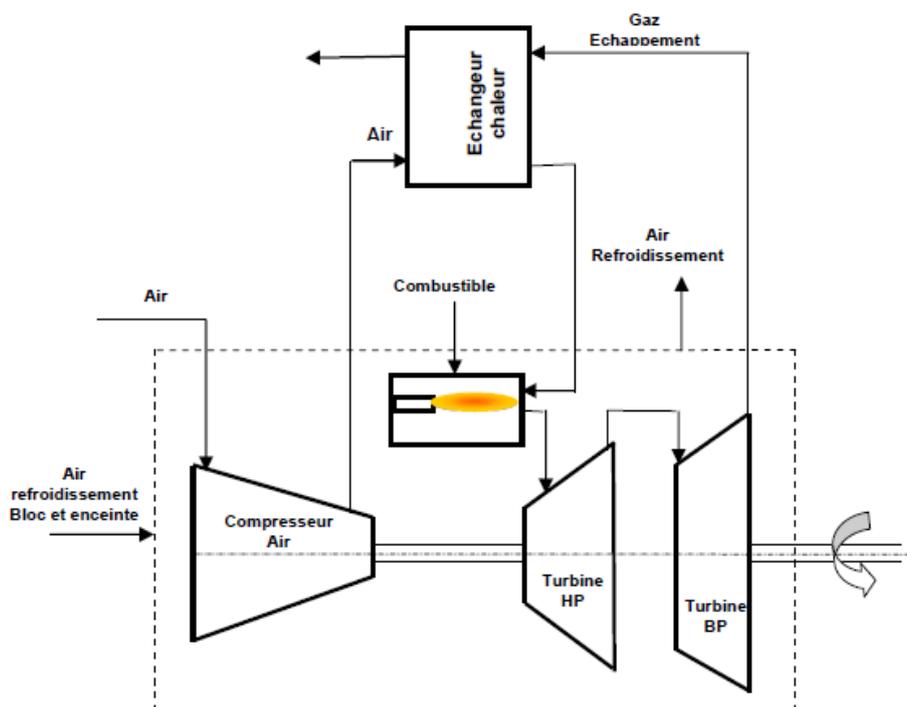


Fig. V.18 : Echangeur air-gaz échappement pour préchauffage d'air

V.1.14.2. Réchauffage du gaz de régénération de l'unité de déshydratation

Par voie similaire à l'utilisation des gaz d'échappement des turbines boosters pour le préchauffage de l'huile caloporteuse, nous préconisons un récupérateur pour l'utilisation aussi des gaz d'échappement des turbines de gaz de vente pour le réchauffage du gaz de régénération de l'unité de déshydratation. Ceci permettra l'élimination à 100 % de l'utilisation du fuel gaz dans le four et en conséquence une réduction de la consommation spécifique d'énergie.

V.1.14.3. Cogénération d'énergie électrique

La cogénération d'énergie électrique dans l'industrie connaît depuis quelques années un nouvel essor. Elle présente de nombreux atouts, parmi lesquels des gains énergétiques et environnementaux importants ; elle permet de produire, à partir d'un seul combustible, tout à la fois de la chaleur et de l'énergie électrique avec un rendement bien supérieur à celui obtenu avec une production séparée. Ainsi, les cycles thermodynamiques ci-après permettent de récupérer l'énergie calorifique des gaz d'échappement, tout en assurant une génération d'énergie électrique.

- Cycle thermodynamique à vapeur d'eau (WHRSG) [37]

Nous préconisons d'interposer un évaporateur produisant de la vapeur à basse pression. La vapeur produite peut être détendue dans une turbine de série utilisant une technologie mono étagée particulièrement fiable et économique. Le courant vecteur d'énergie calorifique est les gaz d'échappement des turbines (figure V.19). Les fumées de combustion sont refroidi de 547°C jusqu'à environ 237°C pour permettre la production de la vapeur d'eau du système WHRSG (Waste heat recovery steam génération).

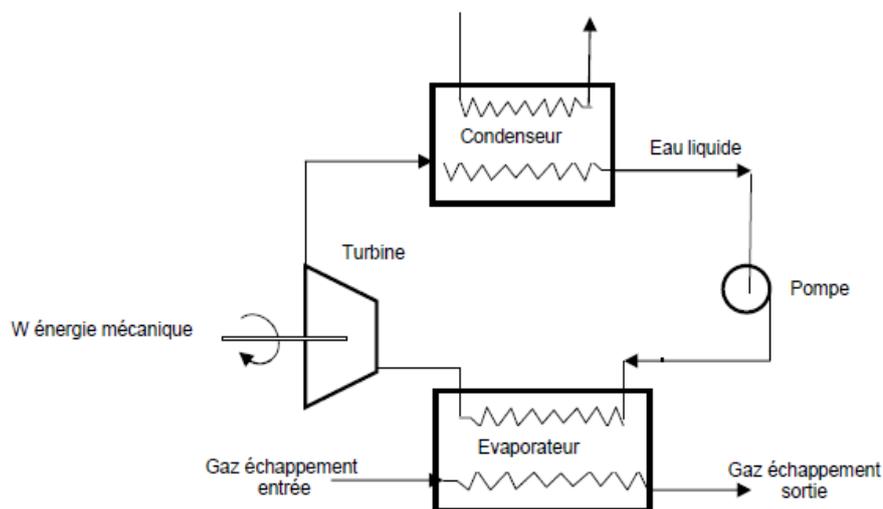


Fig. V.19 : Cycle à vapeur d'eau pour la production d'énergie électrique

V.1.15. Résumé des recommandations et économies d'énergie

Le tableau suivant donne un récapitulatif de la description des mesures de réduction de la consommation d'énergie et hiérarchisation des potentiels d'amélioration correspondantes aux recommandations ci-dessus :

| | opportunité d'amélioration | gain MSm3 | importance investissement | évaluation | | |
|---|---|--------------|------------------------------|------------|---|----|
| | | | | | | |
| 1 | éviter la mise en service de la turbine Booster à vide | 6.132 | T faible | 4 | 6 | 24 |
| 2 | éviter la mise en service de la turbine GDV à vide | 4.38 | T faible | 4 | 6 | 24 |
| 3 | éviter la mise en service de l'unité de décarbonatation en circulation pour une longue durée | 2.4 | T faible | 4 | 4 | 16 |
| 4 | Optimisation de la combustion du Fuel gaz dans le four (ajustement des brûleurs) | 2.39 | faible | 3 | 4 | 12 |
| 5 | Récupération chaleur gaz échappement turbines gaz de vente : Installation d'un échangeur de chaleur air-gaz | 5.97 | lourd | 1 | 6 | 6 |
| 6 | Récupération chaleur Gaz échappement turbines gaz de vente : Installation cycle à vapeur d'eau (WHRSG) | 9.55 | lourd | 1 | 6 | 6 |
| 7 | Allumage Pilotes torches électrique ou autre | 0.33 | moyen | 2 | 2 | 4 |
| 8 | Récupération chaleur gaz échappement turbines gaz de vente : Installation d'un récupérateur de chaleur | 2.81 | lourd | 1 | 4 | 4 |

les critères d'évaluation

| | |
|---------------------------|---|
| gain MSm3 fuel | |
| gain < 2 | 2 |
| 4 > gain > 2 | 4 |
| gain > 4 | 6 |
| importance investissement | |
| lourd | 1 |
| moyen | 2 |
| faible | 3 |
| t faibles | 4 |

Tableau V.3 : Résumé des recommandations et économies d'énergie

V.2. Energie électrique

V.2.1. Alimentation en énergie électrique [38]

L'alimentation de l'unité CPF (Rhourde Nouss), en énergie électrique, est assurée par deux lignes moyennes tensions 30 KV, via un poste de transformation 30/5,5KV, Equipé de deux transformateurs de puissance de 15 MVA chacun. Chacune de ces deux lignes aériennes est dimensionnée de façon à alimenter la charge totale requise par l'usine CPF. Les Principales caractéristiques des deux transformateurs sont :

- Fabricant : FRANCE TRANSFO
- Année de fabrication : 12/10/2010
- Puissance nominale unitaire : S = 15 000 KVA
- Couplage : YN yn0
- Mode de refroidissement : ONAN
- Tension de court-circuit : 10%
- Puissance nominale unitaire : S = 18 500 KVA en future avec mode de refroidissement : ONAF

Aussi, pour assurer la fiabilité du réseau et l'alimentation électrique aux utilisateurs, six transformateurs 5500/400V de puissance 2000KVA sont installés en pair pour alimenter toutes les charges normales de 400V ainsi que les charges essentielles. En cas de coupure d'alimentation électrique (sur les deux arrivées), l'unité CPF dispose d'un groupe électrogène de secours (fonctionnant au diesel) d'une puissance installée de 1000 KVA, pour alimenter les charges essentielles. Les caractéristiques techniques du groupe électrogène de secours sont les suivantes :

- **Marque** : LEROY SOMER
- **Puissance installée** : 1000 KVA
- **Tension nominale** : 400 V
- **Courant nominal** : 1443 A
- **Cos phi** : 0,8
- **Vitesse de rotation** : 1500tr/mn
- **Fréquence** : 50HZ

Les charges essentielles alimentées par ce groupe électrogène en cas d'absence du réseau électrique sont :

- Deux (02) transformateurs de puissance 300KVA chacun « 400/230V » ;

- Panneaux de contrôle des pompes d'eau d'incendie d'appoint ;
- Moteurs des pompes du ballon de torche HP ;
- Moteurs des pompes du ballon de torche BP ;
- Moteurs des pompes du ballon de garde de la cheminée de CO2 ;
- Moteurs des ventilateurs d'alimentation et d'échappement des bâtiments ;
- Moteurs des pompes d'eau brute ;
- Moteurs des pompes d'eau traitée ;
- Moteurs des aéro-refroidisseurs des compresseurs de gaz de régénération ;
- Moteurs du ballon de drainage fermé ;
- Moteurs des pompes de transfert déshuileur à plaque ;
- Package d'injection de méthanol ;
- Quelques panneaux locaux de contrôle.

Un système d'alimentation sans coupure à batteries est fourni afin d'alimenter en continu les charges essentielles durant la période de transition entre la panne du réseau normal et le démarrage de la génératrice de secours. L'autonomie de l'UPS (40KVA) est de 240 minutes.

Le réseau de distribution électrique est constitué de deux jeux de barres 5500V, répartis comme suit :

❖ Jeu de barres A alimente les départs suivants :

G64-PM-28-05B : Moteur pompe N2 Booster d'amine 300 kW

420-MK-63-01A : Moteur compresseur d'air N1 345 kW

420-MK-63-01C : Moteur compresseur d'air N3 345 kW

480-PM-41-01A : Moteur pompe N1 de recirculation d'huile caloporteuse 950 kW

700-PM-71-01A : Moteur pompe électrique N1 eau anti-incendie 400 kW

G60-KM-24-01A : Moteur compresseur 1 du gaz de régénération 300 kW

6EO-EM-81-02A : Démarreur progressif (type soft-start) pompes amine 2 400 kW

6EO-ER-81-01 : Batterie condensateurs 1500KVAR

Disjoncteur de réserve

R00-EM-81-01A : Panneau de distribution 5.5 kV alimentation des puits 40 KVA

❖ Jeu de barres B alimente les départs suivants :

G64-PM-28-05A Moteur pompe N1 booster d'amine 300 kW

420-MK-63-01B Moteur compresseur d'air N2 345 kW

480-PM-41-01B Moteur pompe N1 de recirculation d'huile caloporteuse 950 kW

700-PM-71-01B Moteur pompe électrique N2 eau anti-incendie 400 kW

G60-KM-24-01B Moteur compresseur 2 du gaz de régénération 300 kW

6EO-ER-81-02 Batterie condensateurs 1500KVAR

6EO-EM-81-02B Démarreur progressif (type soft-start) pompes amine 2 400 kW

Disjoncteur de réserve

R00-EM-81-01B Panneau de distribution 5.5 kV alimentation des puits 40 KVA

Chaque jeu de barres est doté de cellules de batteries de condensateurs pour la compensation de l'énergie réactive. Chaque batterie de condensateur est équipée d'un automate de régulation du facteur de puissance qui assure le maintien d'un cos (phi) à une valeur pré réglée (de préférence 0,96). Les caractéristiques des batteries de compensation sont les suivantes :

Marque : Schneider

La batterie de condensateur est composée de 3 gradins :

Gradin1: 500 kVAR

Gradin2: 500kVAR

Gradin3: 500kVAR

Tension assignée U_n : 5,5kV

Puissance assignée Q_n : 1500kVA

Courant assigné I_n : 157A

Fréquence assignée F_n : 50hz

Température maximum : 45°C

Quantité : 2 hors service

Deux (02) chargeurs de batterie produisent un courant continu de 110 Volts pour le système de gestion de l'énergie électrique PSS et pour les relais des disjoncteurs et des MCC. Les caractéristiques du système sont :

- Puissance : 20 KVA
- Entrée : 400 V Phase
- Fréquence : 50 Hz
- Sortie : 110 V DC
- Batteries : ni – cad
- Capacité : quatre (4) heures sous-charge nominale

Le système de gestion de l'énergie électrique « PSS » installé au sein de l'unité CPF conçu pour aider à gérer des conditions en temps réel, isoler des problèmes, des tendances d'étude et contrôler des charges et des générateurs.

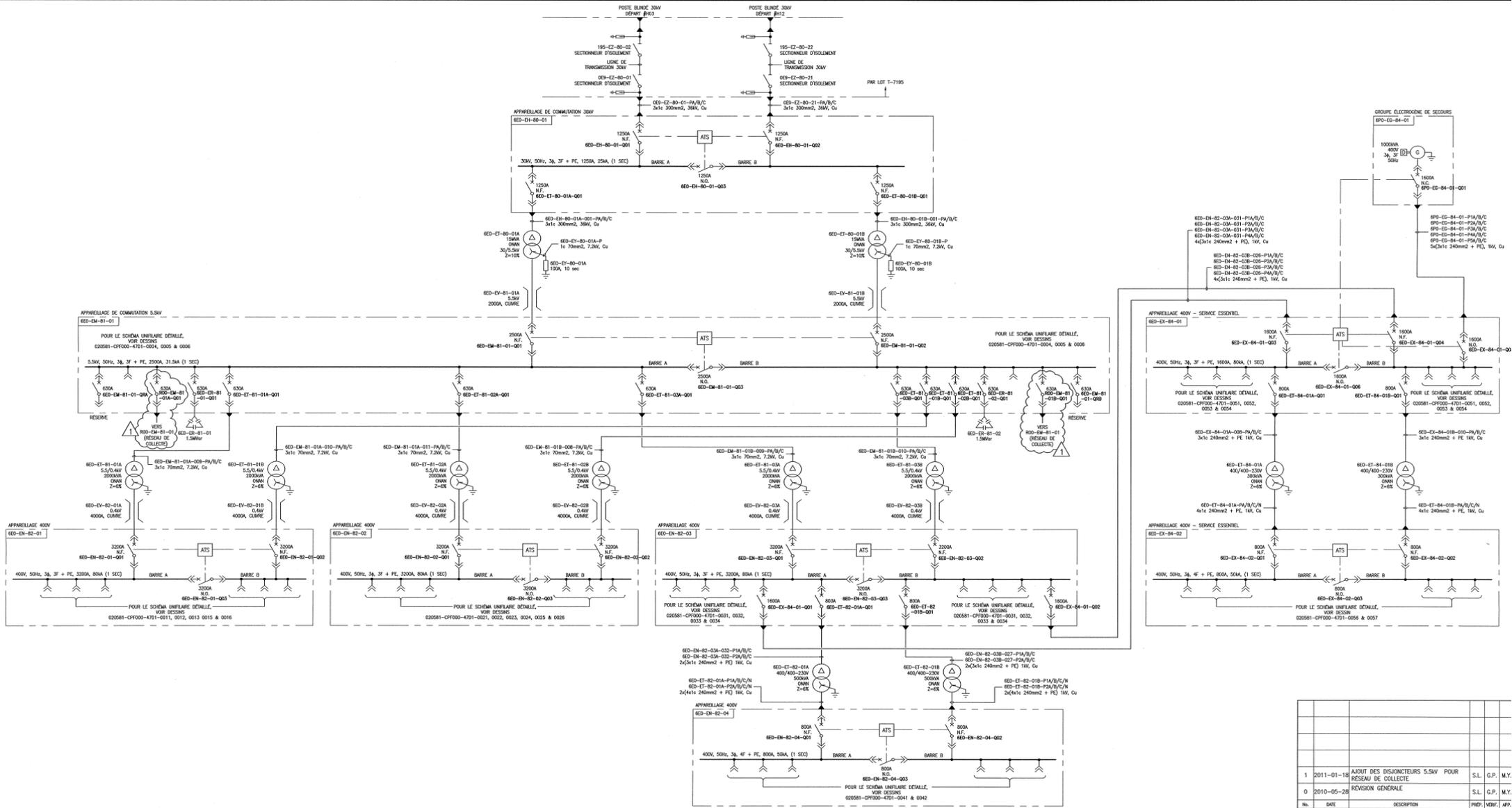


Fig. V.20 : schéma unifilaire de l'alimentation électrique de l'unité CPF

| N° | DATE | DESCRIPTION | PROJ. | VERIF. | APP. |
|----|------------|--|-------|--------|------|
| 1 | 2011-01-18 | AJOUT DES DISJONCTEURS 5.5KV POUR RESEAU DE COLLECTE | S.L. | G.P. | M.Y. |
| 0 | 2010-05-28 | REVISION GENERALE | S.L. | G.P. | M.Y. |

V.2.2. Analyse de l'évolution de la consommation d'énergie réactive

L'énergie réactive n'est pas consommée mais échangée entre la source et les récepteurs. Sa présence est indispensable pour le fonctionnement des systèmes électriques (création de champs magnétiques pour les moteurs et les transformateurs, et champs électriques pour les condensateurs).

Sa circulation sur le réseau engendre :

- Des chutes de tension ;
- Des pertes supplémentaires ;
- Des surdimensionnement des installations et équipements.

L'indice de performance d'une installation électrique, est défini par le rapport entre les consommations en énergies réactives et actives :

$\tan(\phi) = \text{Énergie Réactive} / \text{Énergie Active}.$

V.2.2.1. Compensation de l'énergie réactive

Selon la nature des installations électriques, la compensation de l'énergie réactive consiste en un maintien d'un $\tan(\phi)$ le plus proche de la valeur souhaitée (du point de vue fournisseur d'énergie électrique) qui est : $\tan(\phi) = 0,5$ ($\cos(\phi) = 0,894$).

Dans le cas d'une installation inductive, la compensation s'opère par l'emploi de condensateurs pour produire le manque en énergie réactive nécessaire pour avoir un $\tan(\phi) = 0,5$. Dans le cas d'une installation capacitive, la compensation s'opère par l'emploi de selfs d'inductance pour la consommation de l'excédent en énergie réactive.

Si l'installation possède un $\tan(\phi) = 0,5$, aucune compensation n'est nécessaire. Les installations de l'unité CPF-RNS sont principalement constituées de moteurs et pompes industriels, et de charges résistives, donc de nature inductive, en conséquence la compensation doit s'opérer par l'emploi de condensateurs. Actuellement au sein de cette unité, les deux batteries de condensateurs de 1500KVAr chacune composées de gradins multiples pour maintenir une compensation adéquate en fonction du besoin en énergie réactive, dont la gestion est assurée par des automates dédiés (installés sur chaque batterie) sont à l'arrêt « hors service ». Il est à noter que les deux batteries de condensateurs n'ont jamais fonctionnées depuis la mise en service de l'unité. Néanmoins les données de relevé mensuelle relatives à la consommation de l'énergie réactive font ressortir les résultats suivants

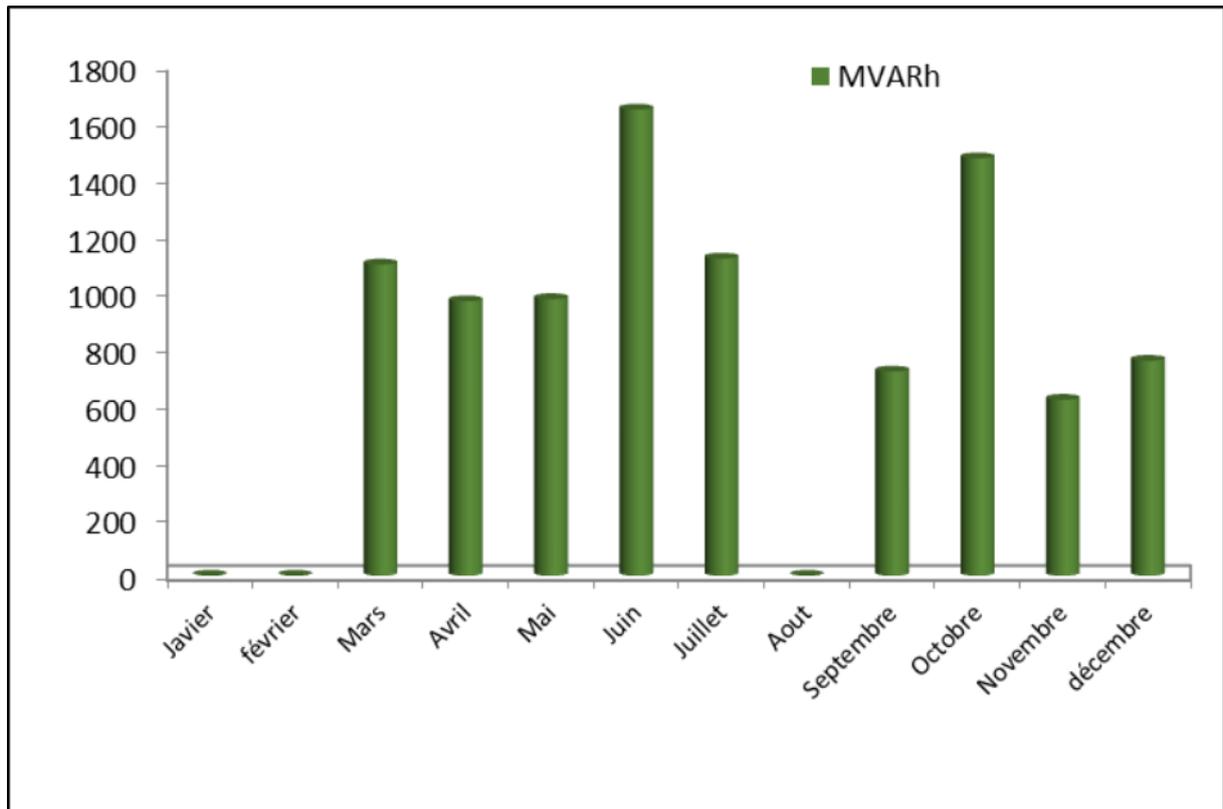


Fig. V.21 : Évolution de l'énergie réactive et l'énergie

V.2.3. Analyse des puissances et des énergies

V.2.3.1. La Puissance Mise à Disposition (PMD)

La Puissance Mise à Disposition (PMD), correspond à la puissance sur la base de laquelle, les installations du fournisseur sont dimensionnées, pour assurer au client la possibilité d'appeler, à son gré et à tout instant, la puissance nécessaire au fonctionnement de son installation, sans pour autant la dépasser. La valeur de la puissance installée est de 2x15000 KVA, ce qui offre à l'unité CPF-RNS une réserve de consommation très importante.

V.2.3.2. La Puissance Maximale Appelée (PMA)

La Puissance Maximale Appelée (PMA) est la puissance moyenne calculée sur une période d'intégration prédéfinie par le fournisseur d'énergie électrique (10mn). La valeur de la PMA doit être inférieure ou égale à la PMD, En cas de dépassement :

- 1^{er} dépassement : le client est informé officiellement par le fournisseur.
- 2^{ème} dépassement constaté au cours de la période des douze (12) mois qui suit, le fournisseur se réserve le droit, soit de :
 - réajuster à la hausse la PMD à une nouvelle valeur, quand le réseau le permet,
 - demander au client de prendre à ses frais les mesures nécessaires pour limiter la puissance appelée à la PMD.

D'où la nécessité d'accorder une attention particulière à la PMA et de veiller à ne pas tolérer des dépassements non justifiés, en évitant les démarrages simultanés des installations, et en limitant les appels de charges lors des démarrages des machines énergivores.

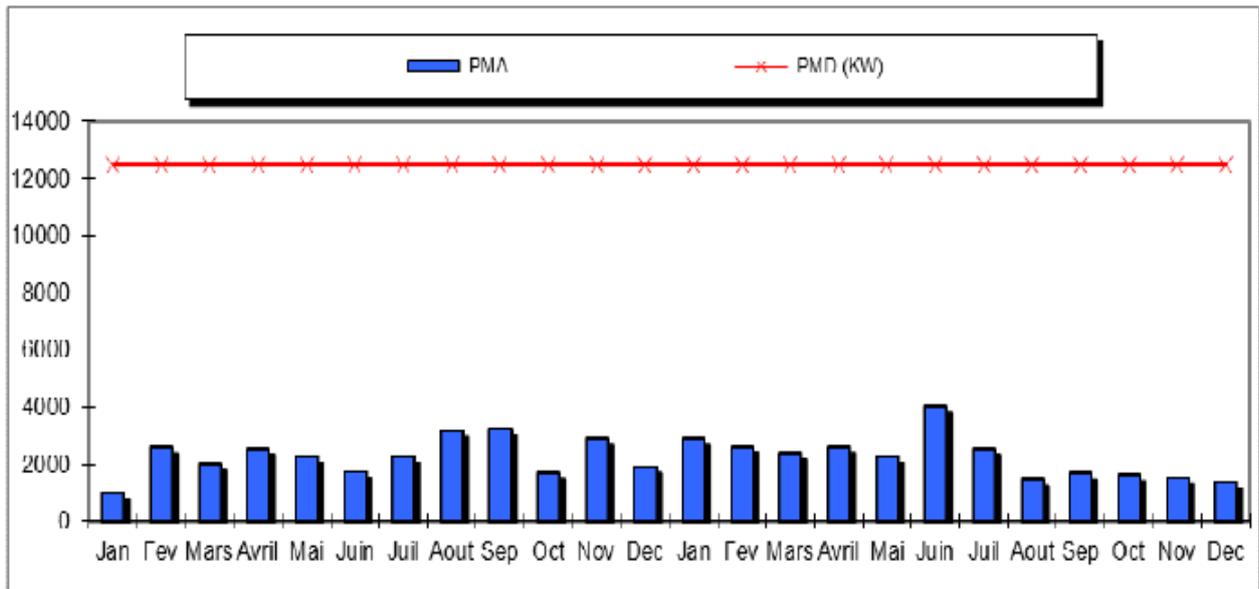


Fig. V.22 : Evolution de la PMA en fonction de la PMD (KW) – Années 2018-2019

V.2.4. Analyse approfondie de la consommation électrique

Pour une analyse approfondie de la consommation énergétique on a pris la consommation énergétique des deux arrivées « CPF1 et CPF2 » durant les deux dernières années, à savoir l'année 2018 et l'année 2019.

Comme premier constat résultant de notre analyse qu'à couvert une période de deux années 2018 et 2019, nous avons remarqué que la consommation totale d'énergie active de l'unité CPF-RNS est divisée équitablement entre les deux lignes (CPF1 et CPF2) à l'exception des mois mars, avril, mai et juin de l'année 2019 où la ligne n°01 (CPF1) est plus chargée en comparant à la consommation de la ligne n°2 (CPF2) et ça est dû à la marche des deux compresseur 5.5 KV « A et C » qui ce trouvent sur le jeu de barre A . Aussi, il est a signalé que pour le mois de juin 2019 la consommation de ligne n°01(CPF1) a dépassée largement consommation de la ligne n°2 (CPF2), respectivement, 2 208MWh et 705MWh, qui a générée une augmentation de la consommation d'énergie réactive importante de 1277MVARh (CPF1) 370 MVARh (CPF2).

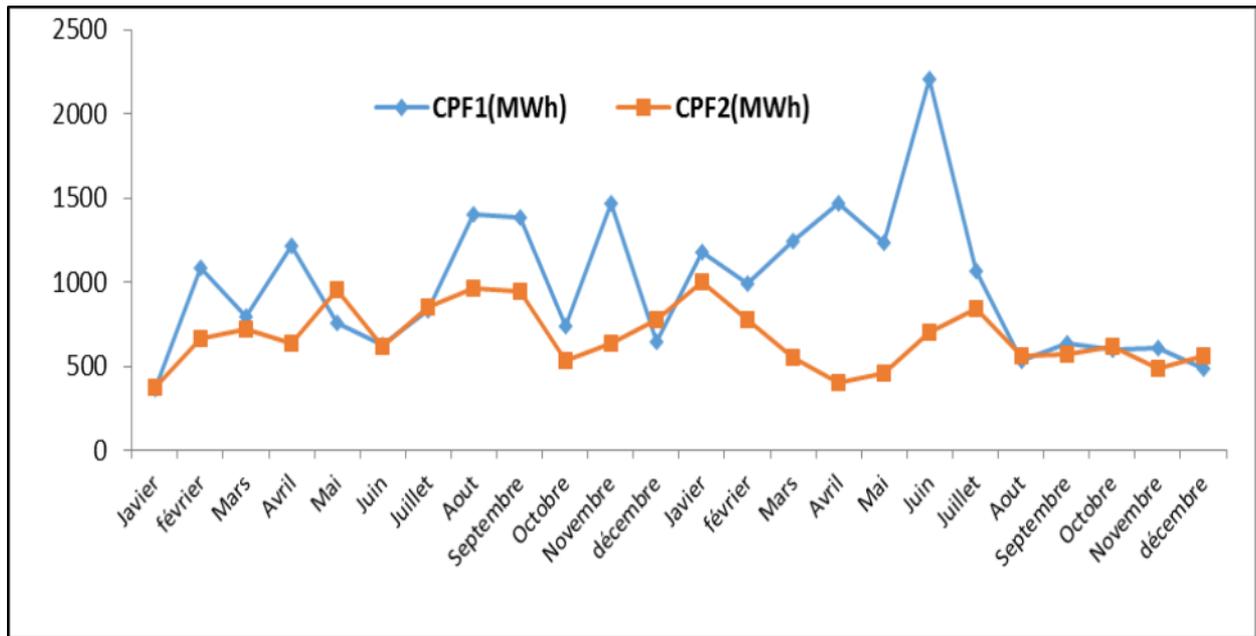


Fig. V.23 : Consommation d'énergie active mensuelle des deux arrivées 30KV (CPF1 et CPF2) au cours des deux dernières années

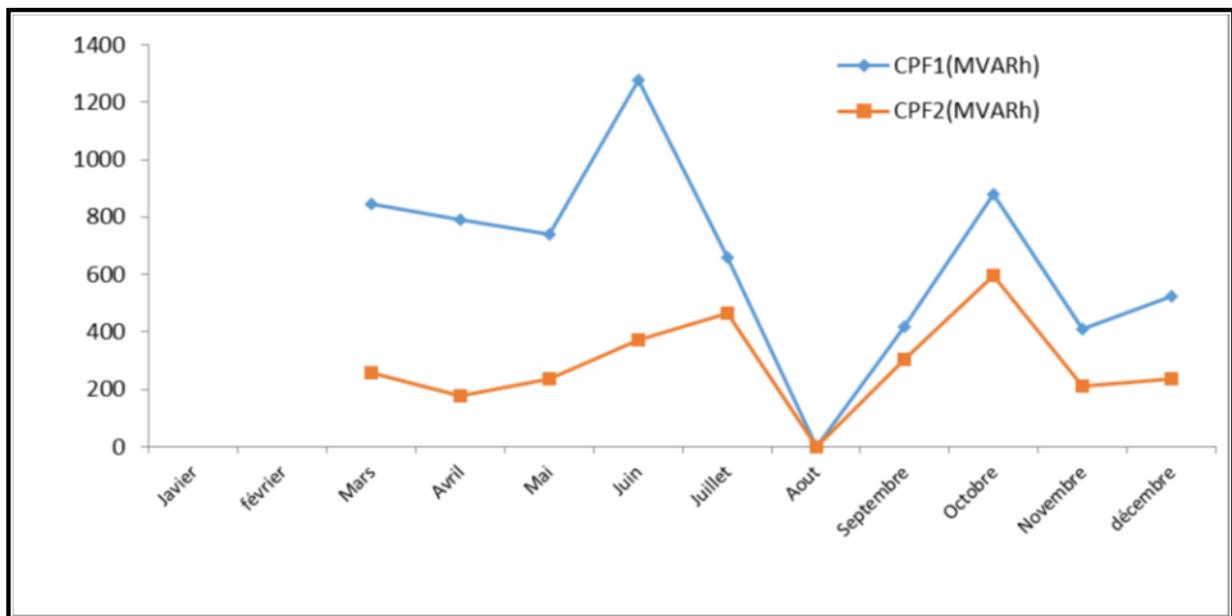


Fig. V.24 : Consommation d'énergie réactive mensuelle des deux arrivées 30KV (CPF1 et CPF2) 2019

V.2.5. Interprétation des mesures

Les principaux objectifs de la campagne de mesure sont la vérification des données de fonctionnement et de performance des installations de l'unité, ainsi que la localisation des éventuels gisements d'économie d'énergie, sur la base des résultats obtenus, comparés aux références standards en la matière.

- La tension de fonction d'un équipement est (+/- 10%)
- Le niveau de déséquilibre fixé par la SONELGAZ est de 15%.
- Pour avoir un fonctionnement optimal des installations électriques, le facteur de puissance doit être maintenu à une valeur de 0,90 ($\tan(\phi)=0,5$).
- La norme CEI 61000-4-7, Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés.

- Les taux de tension harmonique THD-V < 5%

- Les taux de courants harmoniques THD-I < 5%

Les valeurs prises à partir des figures ci-dessus, sont interprétées par les tableaux suivants. L'ensemble des principales machines et des équipements installés au niveau des ateliers de l'unité CPF-RNS totalisent une puissance totale installée de l'ordre de 2186,89 KVA. Répartie comme

Suit :

| DESIGNATION | CHARGE en KVA | % |
|------------------|----------------|------------|
| Arrivée A(CPF1) | 1400 | 64.04 |
| Arrivée B (CPF2) | 786.42 | 35.96 |
| TOTAL | 2186.89 | 100 |

Tableau .V.4 : La charge des deux arrivées (CPF1 et CPF2)

Ce tableau est traduit par le graphe suivant :

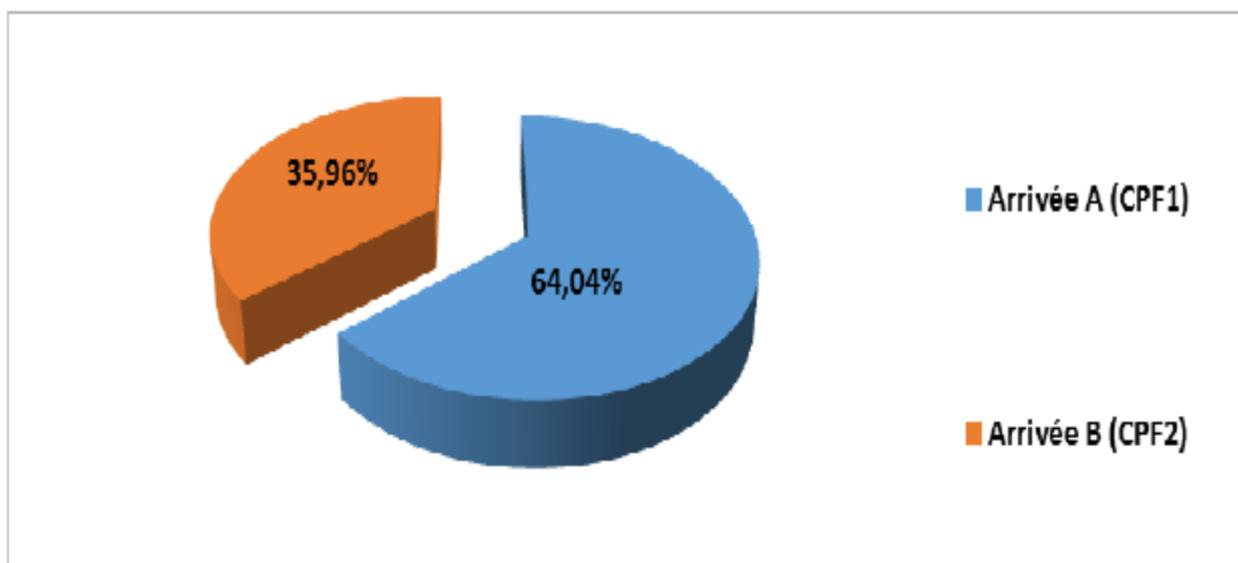


Fig. V.25 : La charge des deux arrivées (CPF1 et CPF2) par rapport à la consommation totale

Le tableau ci-dessous représente la charge des transformateurs de chaque poste :

| Poste | Sn TR KVA | Charge KVA | % | Cos phi |
|------------------|-----------|------------|-------|---------|
| Arrivée A (CPF1) | 15000 | 1400.48 | 09.34 | 0.81 |
| Arrivée B (CPF2) | 15000 | 786.42 | 05.23 | 0.88 |

Tableau .V.5 : La charge des transformateurs de chaque poste

NB : Le calcul des taux d'utilisation de charge pour chaque transformateur est déduit de la formule suivante :

Taux d'utilisation = $(S/S_n) \times 100$ (%), tel que : S et S_n sont, respectivement, la puissance apparente utilisée et la puissance apparente du transformateur. D'après les relèves, on constate que le taux d'utilisation de la puissance installée est de l'ordre de 07% ce qui représente 09% et 05%, respectivement de la puissance nominale du transformateur n°01 (CPF1) et transformateur n°02 (CPF2).

Le fonctionnement d'un transformateur à charge réduite diminue son rendement et engendre un mauvais facteur de puissance (Cos phi).

Un bilan énergétique approfondi pour chaque poste est nécessaire pour évaluer avec exactitude les pertes d'énergie et le taux de charge de chaque transformateur, avant de prendre des recommandations telles que faire fonctionner plusieurs transformateurs en parallèle ou un seul transformateur suffit pour faire fonctionner les différents postes en même temps, ce bilan sera développée dans la partie bilan énergétique des transformateurs.

- Le facteur de puissance mesuré étant inférieur à la valeur de 0,8944 ceci confirme bien des consommations excessives apparues sur les relevées d'électricités.

La consommation excessive d'énergie réactive engendre non seulement la diminution du rendement énergétique des installations mais aussi elle provoque des pertes d'énergie dans les réseaux.

Lors de notre visite à l'unité CPF-RNS, on a constaté que cette dernière dispose des batteries de condensateurs dans chaque jeu de barre 5,5KV, mais ils n'ont jamais fonctionnées depuis la mise en service de cette unité.

Les mesures, affichées par le régulateur varométrique installé sur les batteries de condensateurs, en début de l'audit, montraient que les condensateurs n'ont jamais été mis en service.

Pour améliorer le facteur de puissance de l'usine et le bon fonctionnement des installations qui entraînent une réduction de la consommation d'énergie réactive, la CPF-RNS doit revoir

le commissionné des batteries de compensation 2 x 1500KVAR et de les mettre en service avec le réglage de la consigne de ces batteries de compensation. Il est à noter que parmi les conséquences d'un mauvais facteur de puissance sur l'installation, on cite :

- L'augmentation du courant de ligne
- Des pertes ohmiques supplémentaires dans les lignes
- Des chutes de tension supplémentaires.
 - Les consommations d'énergie de la pompe de recirculation d'huile caloporteur constituent un peu plus de 15 % de l'énergie totale
 - Les consommations d'énergie de la pompe BOOSTER STAR représentent 11,64 % de l'énergie totale
 - Les consommations d'énergie de la pompe anti incendie atteignent presque 7 % de l'énergie totale.
 - Les consommations totales d'énergie des compresseurs d'air « A, B et C » constituent un peu plus de 19 % de l'énergie totale
 - Les consommations d'énergie du moteur compresseur 350KW (régénération) ne représentent que 6 % de l'énergie totale.
 - Les consommations d'énergie du réseau collecte ne dépassent pas 2 % de l'énergie totale.
 - Les consommations d'énergie de la pompe BOOSTER d'AMIN atteignent 5 % de l'énergie totale.

V.2.6. Analyse harmonique

Lors de la campagne de mesure, les représentations graphiques affichées par le DCS ont mis en évidence des déformations importantes des ondes de courant surtout pour le compresseur d'air comprimé « C » de 345KW.

Ces déformations, dues principalement, aux amorçages et commutations des éléments constituant les redresseurs commandés (thyristors ou transistor de puissance), donnent naissance à des harmoniques de fréquences multiples de 50 Hz.

A titre d'illustration, les mesures, réalisées par le DCS sur le compresseur « C », ont donné les résultats suivants :

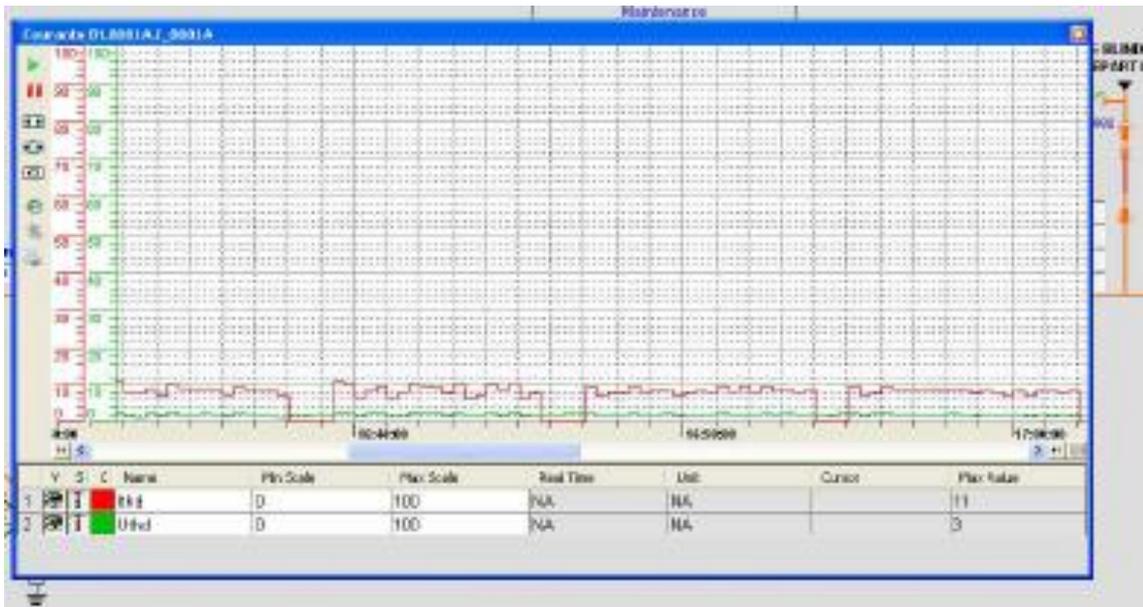


Fig. V.26 : Analyse harmonique des courants

Il est à rappeler que les harmoniques, circulant dans les réseaux, détériorent la qualité de l'énergie, et sont ainsi à l'origine de nombreuses nuisances, à savoir :

- Surcharge des réseaux de distribution par l'augmentation du courant
- Surcharge des conducteurs de neutre en raison de la sommation des harmoniques dérange 3 créent par les charges monophasées,
- Surcharge, vibrations et vieillissement des alternateurs, transformateurs, moteurs et ronflement des transformateurs,
- Surcharge et vieillissement des condensateurs de compensation d'énergie réactive,
- Déformation de la tension d'alimentation pouvant perturber des récepteurs sensibles,
- Perturbation des réseaux de communication ou des lignes téléphoniques.

Les courants harmoniques provoquent, dans les conducteurs et équipements, des pertes supplémentaires par effet Joule, ce qui nécessite d'augmenter le niveau de la puissance souscrite, et le coût de l'abonnement ainsi que le surdimensionnement du matériel.

Les disjoncteurs d'une installation sont soumis à des pointes de courant dues aux harmoniques. Ces pointes de courant peuvent provoquer des déclenchements intempestifs, et induire des pertes de production ainsi que des coûts liés au temps de remise en marche de l'installation.

En conséquence, les harmoniques de rangs élevés sont à combattre, quand leurs amplitudes dépassent les limites tolérées par les normes.

- Aussi, on a constaté que le compresseur d'air « C » de 345KW marche en charge pendant sept (07) minutes ensuite à vide pendant une (01) minute, voir annexe n°3. La marche

répétitive en charge et ensuite à vide pendant une durée de 10 minutes influe directement sur la durée de vie du compresseur et elle engendre non seulement la diminution du rendement énergétique des installations mais aussi des pertes d'énergie dans les réseaux.

V.2.7. Bilan énergétique des transformateurs

Dans certaines sous station de l'unité CPF-RNS les transformateurs de puissance fonctionnent à des charges réduites de leur puissance nominale. A charge réduite le facteur de puissance est faible et nécessite une compensation de l'énergie réactive consommée afin d'améliorer le facteur de puissance.

Le bilan énergétique des transformateurs s'avère être une des plus importantes étapes du diagnostic énergétique des installations électriques. Le bilan a pour objectif de mettre en relief les pertes engendrées lors du fonctionnement de ces transformateurs. Ces pertes peuvent être plus ou moins élevées selon la charge, le facteur de puissance des installations alimentées par ces transformateurs, les caractéristiques des transformateurs ainsi que leurs modes d'exploitation.

Pour établir le bilan énergétique des transformateurs il est tenu compte des paramètres mesurés et des caractéristiques des transformateurs disponibles.

Actuellement au niveau de l'unité CPF-RNS, les deux (02) transformateurs 30/5,5KV, fonctionnent séparément chacun débitant sur son propre jeu de barres. Les résultats des mesures et relevées effectuées du 30 août au 03 septembre 2020, au niveau des arrivées CPF1 et CPF2 sont les suivants

| Paramètres | TR1 | TR2 |
|---|---------|--------|
| Puissance apparente du transformateur Sn TR « KVA » | 15000 | 15000 |
| Puissance active P « KVA » | 1145 | 695 |
| Puissance réactive Q « KVA » | 805 | 368 |
| Puissance apparente S « KVA » | 1400.48 | 786.42 |
| Indice de performance des installations électrique « Tg φ » | 0.72 | 0.54 |
| Facteur de puissance « Cos φ » | 0.81 | 0.88 |

Tableau. V.6 : Les résultats des mesures au niveau des arrivées CPF1 et CPF2

Le calcul des taux d'utilisation de charge pour chaque transformateur est déduit de la formule suivante :

$$\text{Taux d'utilisation} = (S/S_n) \times 100 (\%) \dots (1)$$

Tel que : S et S_n sont, respectivement, la puissance apparente utilisée et la puissance apparente du transformateur.

$$\text{TR1 de 15000KVA} = 09,34 \%$$

$$\text{TR2 de 15000KVA} = 05,23 \%$$

Les mesures effectuées au niveau des différentes sous-stations ont données que les deux (02) transformateurs (TR1 et TR2) fonctionnent à charge réduite par rapport aux dimensions (puissance nominal) des transformateurs.

Le fonctionnement d'un transformateur à charge réduite diminue son rendement et engendre un mauvais facteur de puissance ($\text{Cos } \varphi$).

- **Calcul des pertes et leurs coûts**

Pour les besoins du calcul des pertes actives et réactives et vu l'indisponibilité de certaines caractéristiques nominales des transformateurs installés dans les postes, il a été fait usage des caractéristiques nominales des transformateurs équivalents recueillies dans le catalogue de MERLIN GERIN [39]

| Paramètres du transformateur | UNITÉ | TR1 | TR2 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Puissance apparente « S_n » | KVA | 15000 | 15000 |
| Tension primaire « U_1 » | V | 30000 | 30000 |
| Tension secondaire « U_2 » | V | 5500 | 5500 |
| Courant primaire « I_1 » | A | 289 | 289 |
| Courant secondaire « I_2 » | A | 1576 | 1576 |
| Pertes cuivres « PCC » | KW | 29.18 | 29.18 |
| Pertes à vide « P_0 » | KW | 7.66 | 7.66 |
| Pertes totales « PT » | KW | 36.84 | 36.84 |
| Tension de court-circuit « UCC » | % | 10 | 10 |
| Courant à vide « I_0 » | %KVAR | 3.29 | 3.29 |

| | | | |
|---|------|-----|-----|
| Puissance à compenser en pleine charge « Qch » | KVAR | 300 | 600 |
| Fréquence « f » | HZ | 50 | 20 |

Tableau .V.7 : Caractéristiques nominales des transformateurs équivalents recueillis dans le catalogue MERLIN GERIN

V.2.8. Hypothèses de calcul sur la base de la facturation de SONELGAZ avec tarif moyenne tension « Tarif 44 »

- Coût moyen du KWh au tarif 44 :

$$C_{uea} = 3,7562 \text{ DA/KWh}$$

- Coût moyen du KVARh au tarif 44 :

$$C_{uer} = 0,4553 \text{ DA/KVARh}$$

Le fonctionnement des transformateurs par an :

$$T_0 = 8760 \text{ heures de fonctionnement à vide.}$$

$$T_{ch} = 8760 \text{ heures de fonctionnement en charge.}$$

Sachant que pour un transformateur

1. Transformateur TR1

- Pertes actives à vide P_0 ;
- Pertes actives en charge :

$$P_{ch} = P_{cc} \left(\frac{S_{ch}}{S_n} \right)^2 \quad \dots\dots(1.1)$$

$$\text{Avec : } S_{ch} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1145^2 + 805^2} = 1399.66 \text{ KVA}$$

$$P_{ch} = 29.18 \left(\frac{1399.66}{15000} \right)^2 = 0.25 \text{ KW}$$

- Pertes réactives à vide

$$Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n \quad \dots\dots(1.2)$$

$$Q_0 = \frac{3.29}{100} 15000 = 493.5 \text{ KVAR}$$

- Pertes réactives en charge

$$Q_{ch} = \frac{U_{cc}}{100} \frac{S_{ch}}{S_n} * 2 * S_n \quad \dots\dots (1.3)$$

$$Q_{ch} = \frac{10}{100} \frac{1399.66}{15000} * 2 * 15000 = 13.08 \text{KVAr}$$

- Pertes d'énergie active

$$\Delta P \text{ (KWh)} = P_0 * 8760 + P_{ch} * 8760 \quad \dots\dots(1.4)$$

$$\Delta P = 7.66 * 8760 + * 8760 = 69329.83 \text{ KWh}$$

- Pertes d'énergie réactive

$$\Delta Q \text{ (KVArh)} = Q_0 * 8760 + Q_{ch} * 8760 \quad \dots\dots(1.5)$$

$$\Delta Q = 493.5 * 8760 + 13.80 * 8760 = 4437602.50 \text{ KVArh}$$

- Coût des pertes d'énergie active

$$C_{ea} = \Delta P * 3.7562 \quad \dots\dots(1.6)$$

$$C_{ea} = 69329.83 * 3.7562 = 260416.7074 \text{ DA/an}$$

- Coût des pertes d'énergie réactive

$$C_{er} = \Delta Q * 0.4553 \quad \dots\dots (1.7)$$

$$C_{er} = 4437602.50 * 0.4553 = 2020440.42 \text{ DA/an}$$

- Coût total des pertes d'énergie

$$C_{et} = C_{ea} + C_{er} \quad \dots\dots (1.8)$$

$$C_{et} = 260416.7074 + 2020440.42 = 2280857.14 \text{ DA/an}$$

2. Transformateur TR2

- Pertes actives à vide P_0 ;

- Pertes actives en charge :

$$P_{ch} = P_{cc} \left(\frac{S_{ch}}{S_n} \right)^2 \quad \dots\dots(2.1)$$

Avec : $S_{ch} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{695^2 + 368^2} = 786.415 \text{KVA}$

$$P_{ch} = 29.18 \left(\frac{786.415}{15000} \right)^2 = 0.08 \text{ KW}$$

- Pertes réactives à vide

$$Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n \quad \dots\dots (2.2)$$

$$Q_0 = \frac{3.29}{100} 15000 = 493.5 \text{ KVAr}$$

- Pertes réactives en charge

$$Q_{ch} = \frac{U_{cc}}{100} \frac{S_{ch}}{S_n} * 2 * S_n \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Q_{ch} = \frac{10}{100} \frac{786.415}{15000} * 2 * 15000 = 4.12 \text{KVAr}$$

- Pertes d'énergie active

$$\Delta P \text{ (KWh)} = P_0 * 8760 + P_{ch} * 8760 \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$\Delta P = 7.66 * 8760 + * 8760 = 67804.21 \text{ KWh}$$

- Pertes d'énergie réactive

$$\Delta Q \text{ (KVArh)} = Q_0 * 8760 + Q_{ch} * 8760 \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$\Delta Q = 493.5 * 8760 + 4.12 * 8760 = 4359151.2 \text{ KVArh}$$

- Coût des pertes d'énergie active

$$C_{ea} = \Delta P * 3.7562 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

$$C_{ea} = 67804.21 * 3.7562 = 254686.1736 \text{ DA/an}$$

- Coût des pertes d'énergie réactive

$$C_{er} = \Delta Q * 0.4553 \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

$$C_{er} = 4359151.2 * 0.4553 = 1984721.541 \text{ DA/an}$$

- Coût total des pertes d'énergie

$$C_{et} = C_{ea} + C_{er} \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

$$C_{et} = 254686.1736 + 1984721.541 = 2239407.715 \text{ DA/an}$$

Le coût des pertes d'énergie est élevé **4 520 277,00DA/an** et ceci est dû principalement à la marche des transformateurs à charge réduite.

V.2.9. Recommandation

- Il est important de débrancher au primaire le transformateur 15000 KVA non utilisé, afin d'éliminer les pertes à vide qui auraient lieu s'il n'était débranché qu'au secondaire.
- Permuter entre les deux transformateurs de 15000 KVA chacun chaque mois afin d'éliminer l'humidité.
- Le débranchement du transformateur peut se réaliser automatiquement à travers un relais ampérométrique.

- important aussi, de signaler que le ATS (Inverseur de sources automatique) qui commande le basculement entre les deux lignes (CPF1 et CPF2), afin d'assurer la continuité de service des deux jeux de barres A et B, en cas d'absence du réseau électrique sur l'une des deux arrivées.

Selon les exploitants de l'unité CPF-RNS, cet ATS déleste les équipements alimentés par le jeu de barre en défaut avant de basculer sur l'autre jeu barre sous tension. Ce basculement provoque le déclenchement de toute l'unité.

A cet effet, il est recommandé de revoir le réglage de l'ATS afin d'éviter le manque a gagné en cas d'un défaut sur l'une des deux arrivées ou sur le transformateur 15MVA

V.2.10. L'utilisation des variateurs de vitesse

Les trois grands consommateurs d'électricité au niveau de CPF sont des pompes utiliser pour la circulation d'amine et d'huile caloporteuse, la méthode de contrôle du débit est l'utilisation des vannes régulatrices sur la ligne de refoulement et la ligne de débit minimum pour chaque pompe, avec une vitesse constante des moteur, l'utilisation des variateur de vitesse assurer le contrôle de débit avec une consommation énergétique efficace.

Le simulateur des drivers disponible sur le site officiel d'ABB nous a permet de simuler la différence entre les deux méthodes de control et le gain gagner après l'utilisation d'un variateur de vitesse pour les tris moteur.

1. Pompe de circulation d'amine SULZER P = 2400KW

Results

Annual energy savings

8,475.5MWh

Annual energy consumption with existing control method

15,681.3MWh

Annual energy consumption with ABB drive control

7,205.7MWh

Annual energy savings percentage

54%

CO₂ emission reduction

2,542.7t/year

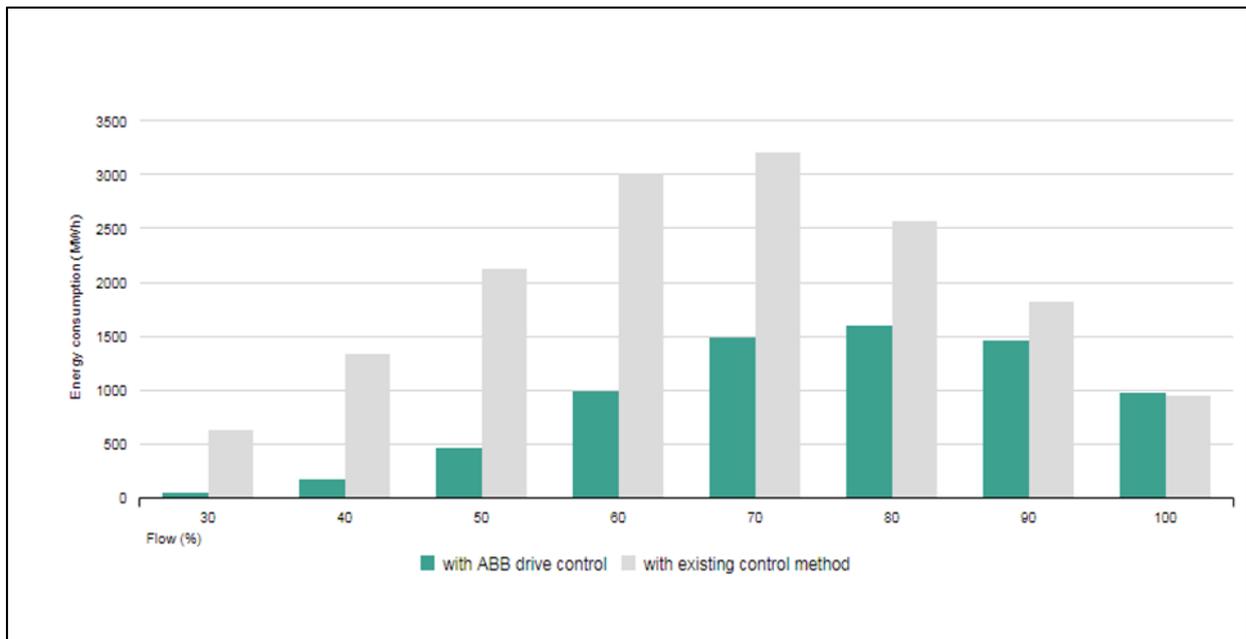


Fig. V.27 : Consommation d'énergie totale de pompe de circulation d'amine SULZER

2. Pompe de circulation d'huile caloporteuse P = 950KW

Results

Annual energy savings

3,354.9MWh

Annual energy consumption with existing control method

6,207.2MWh

Annual energy consumption with ABB drive control

2,852.3MWh

Annual energy savings percentage

54%

CO₂ emission reduction

1,006.5t/year

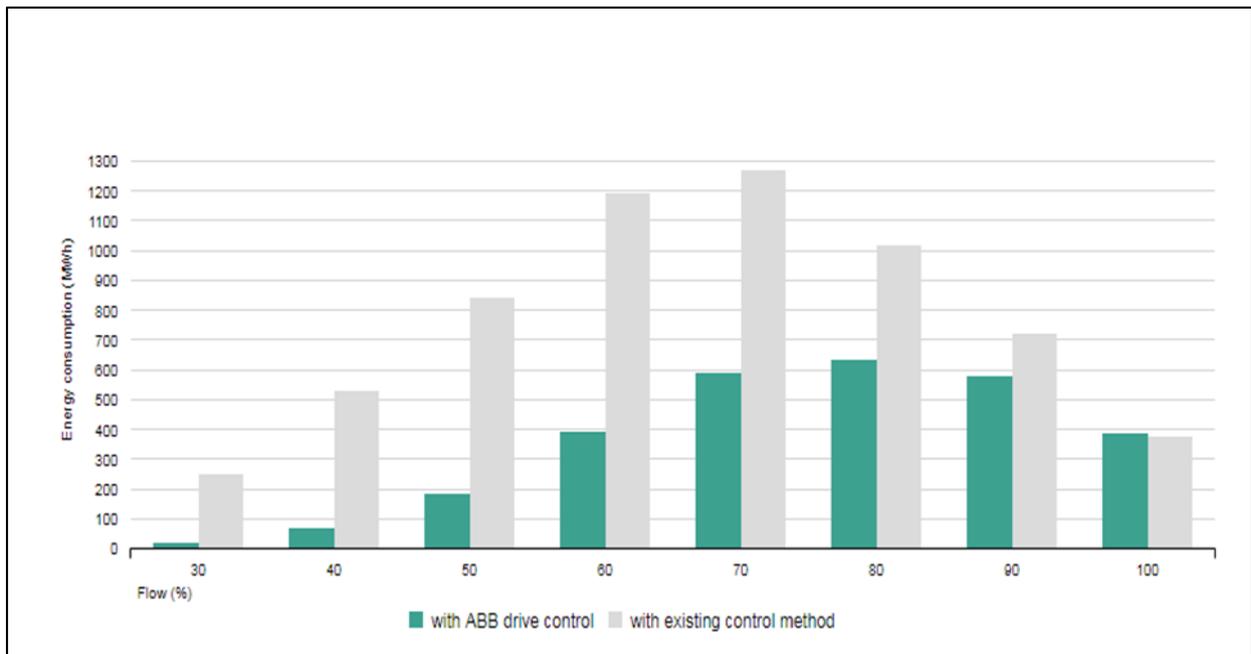


Fig. V.28 : Consommation d'énergie totale de pompe de circulation d'huile caloporteuse

V.2.11. Résumé des recommandations et économies d'énergie

Le tableau suivant donne un récapitulatif de la description des mesures de réduction de la consommation d'énergie et hiérarchisation des potentiels d'amélioration correspondantes aux recommandations ci-dessus

| | opportunité d'amélioration | gain | importance investissement | | | | gain Million DA électricité | |
|---|--|------------|---------------------------|---|---|----|-----------------------------|---|
| | | | | | | | | |
| 1 | Mis hors service le deuxième transformateur au primaire afin d'éliminer les pertes à vide | 2173787 | faible | 3 | 6 | 18 | gain < 1 Million | 2 |
| | | | | | | | 2 > gain > 1 | 4 |
| 2 | mettant en service les deux batteries de condensateurs | 1060482.96 | t faible | 4 | 4 | 16 | gain > 2 | 6 |
| | | | | | | | importance investissement | |
| 3 | éviter la mise en service de l'unité de décarbonatation en circulation pour une longue durée : circulation et chauffage d'huile caloporteuse | 1302937.5 | t faible | 4 | 4 | 16 | lourd | 1 |
| | | | | | | | moyen | 2 |
| | | | | | | | faible | 3 |
| | | | | | | | t faible | 4 |
| 4 | Fuites d'air comprimé complètes et régulières | 2936057 | moy | 2 | 6 | 12 | | |
| 5 | éviter la mise en service de l'unité de décarbonatation en circulation pour une longue durée: circulation et refroidissement d'amine pauvre | 656250 | t faible | 4 | 2 | 8 | | |
| 6 | utiliser les lampes à basse consommation. | 1502400 | lourd | 1 | 4 | 4 | | |
| 7 | Installer des filtres afin de réduire au maximum la pollution au niveau du réseau | 898482.96 | lourd | 1 | 2 | 2 | | |

Tableau V.8 : Résumé des recommandations et économies d'énergie

Conclusion

Ce dernier chapitre, contient des analyses et des discussions sur l'intensité énergétique de l'unité et les résultats obtenu pendant les années 2017-2019.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

On conclure d'après cette étude de l'audit énergétique de l'installation de unité CPF/SONATRACH/DP/RHOURDE NOUSS.

La consommation spécifique d'énergie thermique de l'unité CPF de Rhourde Nouss moyenne de l'ordre de **271 kcal/Sm³ de gaz de vente**. Elle pourra être abaissée, dans le cas où les mesures d'amélioration du comportement de fonctionnement des différentes installations spécifiées dans ce rapport seront prises en considération.

De l'appréciation des potentiels d'économie mentionnés et présentés dans ce rapport, il ressort que les principales recommandations conduisant à de nettes améliorations sont :

- ☛ la récupération de chaleur des gaz d'échappement des turbines à gaz de compression de gaz de vente pour la cogénération d'énergie électrique et le préchauffage de l'air introduit dans la chambre de combustion pour la combustion et le refroidissement.

- ☛ la réduction du débit actuel du Fuel gaz dans les turbines à gaz boosters principalement et d'un degré moindre l'optimisation de son processus de combustion

- ☛ L'utilisation directe de la chaleur des gaz d'échappement des turbines de gaz de vente pour le réchauffage de la charge de gaz de régénération et l'élimination de la consommation du fuel gaz dans le four Aussi, l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations auditées permet aussi une réduction de la consommation énergétique, en conséquence tous les points de contrôle de ces installations doivent être listés avec la fréquence des contrôles, et les données à recueillir. Cela nécessitera une fiabilité des capteurs et d'instruments de mesure pour une automation continue et régulière.

Par ailleurs, sur la base des résultats d'audit de la consommation d'énergie électrique de **l'unité CPF-RNS**, nous pouvons conclure qu'on pourrait réduire de manière considérable la consommation énergétique de cette unité, ce qui permettra non seulement de diminuer la part de l'énergie dans les couts de production, mais aussi d'améliorer le taux de production. Ainsi, le gain financier engendré par les économies d'énergie s'élevé annuellement à **764925,13KWh** et **398 498KVARh**. Il est recommandé d'appliquer en bloc toutes les mesures d'économies d'énergie identifiées, car les gains seront considérables si ces mesures seraient appliquées.

Bibliographie

- [2] Magasin [INFO HYD] n=86 mars 2019
 - [3] Documents présentation de Rhourde-Nouss : "SONATRACH-RNS/Division exploitation
 - [4] Documentation interne du complexe de Rhourde-Nouss, 1987 & 1999 /SONATRACH
 - [5] Manuel opératoire de l'usine de GPL de Rhourde-Nouss /SONATRACH
 - [6] Manuel opératoire de procédé CSC, volume 5, (SONATRACH)
 - [7] **SONATRACH**, Installations de traitement de Rhourde-Nouss QH, manuel opératoire de Procédé, volume 1, 09446Z, Algérie 2012
 - [8] **MEM**, Ministère de l'énergie et des mines 2005-2018
 - [9] **MEM**, Ministère de l'énergie et des mines. Bilan énergétique national. (1980-2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012).
 - [10] Ministère de l'énergie. Bilan énergétique national 2018
 - [11] Ministère de l'énergie et des mines 2008. L'évolution du secteur de l'énergie et des mines – réalisation 1962-2007
 - [12] Ministère de l'énergie et des mines 2011. Bilan des réalisations du secteur de l'énergie et des mines 1962-2010.
 - [13] Ministère de l'énergie et des mines 2014.
 - [14] Ministère de l'énergie et des mines 2015
 - [15] **CREG**, La Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz
 - [16] **APRUE**, Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie
 - [17] L'AUDIT ENERGETIQUE Art 20 à 23 de la loi 09-99, Décret exécutif n°05-495 du 26.12.2005
 - [18] Audit énergétique dans le secteur industriel APRUE
 - [19] Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie /APRUE. Edition
-
-

- 2010.Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie Art. 3/ Art. 4/ Art. 5
- [20] Programme national de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique à l'horizon 2030
- [21] Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie /APRUE. Edition 2010.Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie Art. 11
- [22] Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie /APRUE. Edition 2010.Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie Art. 18
- [23] Guide méthodologique APRUE
- [24] Revue annuel de SONATRACH, Revue n°32 ; Décembre 2018
- [25] Turbine à gaz manuel de formation TOTAL exploitation et production COUR EXP-PR-EQ140, révision 0.1
- [26] **HOUAS Abdelouahed**, "Exploitation et maintenance l'alternateur de la turbine a gaz", projet professionnel de fin de formation d'ingénieur spécialisé en électricité industrielle, SONATRACH activité E&P, direction régionale de TFT,division maintenance. Avril 2014
- [27] Catalogue (document de fournisseur), SONATRACH/ RNS
- [28] Manuel d'utilisation de la turbine à gaz SIEMENS SGT 400 Gas Turbine, SONATRACH/RNS
- [29] Formation professionnalisant PRO/EXP4 GROUPE1, Ingénierie Gaz-GNL, les équipements d'échange thermique, Réchauffeurs et fours, HMD/ Base 24-06- 11 juin 2015
-

- [30] **NASRAOUI Nassim**, " Commande et supervision du four à l'unité de traitement des gaz associés UTGA par un automate Siemens S7-300", Mémoire de fin de formation induction IAP, SONATRACH activité E&P direction régionale de TFT, division maintenance, service instrumentation, Promotion 2015
 - [31] Manuel pratique d'atelier de la construction mécanique, SONATRACH /RNS
 - [32] Les transformateurs Manuel de formation TOTAL exploitation et production COURSEXP-PR-EQ170, révision 0.1
 - [33] **SONATRACH**, Division production, Direction Régionale, Rhourde Nouss, Manuel d'opération et d'entretien Volume 01
 - [34] Cahier technique n°207 Les moteur électrique
 - [35] Commissariat Général au développement durable, Chiffres & Statistiques 2017-2019
 - [36] **SONATRACH**, Division production, Direction Régionale, Rhourde Nouss, Rapport annuel Bilans mensuel et Consommations version électronique CPF 2017-2019
 - [37] **Khurana; S et Banerjee R.**, Energy balance and cogeneration for a cement plant, Applied Thermal Engineering, 22 (2002) 485 – 494
 - [38] **SONATRACH**, Division production, Direction Régionale, Rhourde Nouss, Installations électrique de Rhourde-Nouss QH, manuel opératoire
 - [39] **SONATRACH**, Division production, Direction Régionale, Rhourde Nouss, Les caractéristiques nominales des transformateurs équivalents recueillis. Catalogue MERLIN GERIN
-

Webographie

[1] Site web Sonatrach

http://www.sonatrach.dz/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=105&lang=fr

ANNEXE A

Production du gaz et consommation gaz combustible

| MOIS | Production G (KStd m3) | Conso fuel gaz KStdm3 | Conso fuel gaz tep |
|--------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Jan-17 | 217917.838 | 5098.318 | 5021.8432 |
| Feb-17 | 234155.711 | 5361.764 | 5281.3375 |
| Mar-17 | 242450.487 | 5613.357 | 5529.1566 |
| Apr-17 | 214145.43 | 5499.941 | 5417.4419 |
| May-17 | 231810.079 | 4975.747 | 4901.1108 |
| Jun-17 | 225179.109 | 4876.89 | 4803.7367 |
| Jul-17 | 227347.8697 | 6094.2027 | 6002.7897 |
| Aug-17 | 235504.7418 | 7896.455 | 7778.0082 |
| Sep-17 | 222630.774 | 6373.448 | 6277.8463 |
| Oct-17 | 197087.549 | 6756.252 | 6654.9082 |
| Nov-17 | 209361.614 | 5228.179 | 5149.7563 |
| Dec-17 | 203424.516 | 5201.997 | 5123.967 |
| | 2661015.719 | 68976.5507 | 67941.9024 |
| Jan-18 | 208610.657 | 8657.438 | 8527.5764 |
| Feb-18 | 182337.19 | 6169.982 | 6077.4323 |
| Mar-18 | 199539.393 | 6852.064 | 6749.283 |
| Apr-18 | 175145.0273 | 5357.8513 | 5277.4835 |
| May-18 | 188270.6661 | 5012.80207 | 4937.61 |
| Jun-18 | 163670.7728 | 4405.49479 | 4339.4124 |
| Jul-18 | 197875.165 | 4862.246 | 4789.3123 |
| Aug-18 | 187001.0791 | 4646.30813 | 4576.6135 |
| Sep-18 | 31602.078 | 909.168 | 895.53048 |

| | | | |
|--------|-------------|-------------|------------|
| Oct-18 | 146209.2918 | 3451.8348 | 3400.0573 |
| Nov-18 | 172945.533 | 4127.474 | 4065.5619 |
| Dec-18 | 174687.881 | 4643.817 | 4574.1597 |
| | 2027894.734 | 59096.48009 | 58210.0329 |
| Jan-19 | 184022.49 | 4729.845 | 4658.8973 |
| Feb-19 | 161573.601 | 4315.351 | 4250.6207 |
| Mar-19 | 159148.812 | 4525.806 | 4457.9189 |
| Apr-19 | 165220.093 | 4413.494 | 4347.2916 |
| May-19 | 169283.086 | 4673.827 | 4603.7196 |
| Jun-19 | 164283.309 | 4874.405 | 4801.2889 |
| Jul-19 | 172750.22 | 5190.051 | 5112.2002 |
| Aug-19 | 169239.495 | 4937.998 | 4863.928 |
| Sep-19 | 72109.758 | 1513.352 | 1490.6517 |
| Oct-19 | 174267.789 | 4342.888 | 4277.7447 |
| Nov-19 | 152852.674 | 4166.376 | 4103.8804 |
| Dec-19 | 139699.957 | 4301.369 | 4236.8485 |
| | 1884451.284 | 51984.762 | 51204.9906 |

PCS= 9850Kcal /Sm³

1tep= 1Sm³*PCS/10⁷

ANNEXE D

Consommation active et réactive

| 2018 | <i>Énergie activé (MWh)</i> | | <i>Énergie réactivé (MVARh)</i> | |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------|---------------|
| | départs cpf 1 | départs cpf 2 | départs cpf 1 | départs cpf 2 |
| <i>Janvier</i> | 362,00 | 375,00 | / | / |
| <i>Février</i> | 1084,00 | 661,00 | / | / |
| <i>Mars</i> | 799,00 | 722,00 | / | / |
| <i>Avril</i> | 1219,00 | 635,00 | / | / |
| <i>Mai</i> | 757,00 | 951,00 | / | / |
| <i>Juin</i> | 624,00 | 622,00 | / | / |
| <i>Juillet</i> | 833,00 | 855,00 | / | / |
| <i>Aout</i> | 1408,00 | 961,00 | / | / |
| <i>Septembre</i> | 1388,00 | 945,00 | / | / |
| <i>Octobre</i> | 739,00 | 529,00 | / | / |
| <i>Novembre</i> | 1471,00 | 641,00 | / | / |
| <i>Décembre</i> | 650,00 | 773,00 | / | / |
| <i>Totale</i> | <i>11334,00</i> | <i>8670,00</i> | / | / |
| <i>Totale cpf1+cpf2</i> | <i>20004 MWh</i> | | / | |

| 2019 | <i>Énergie activé (MWh)</i> | | <i>Énergie réactivé (MVARh)</i> | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------|---------------|
| | départs cpf 1 | départs cpf2 | départs cpf 1 | départs cpf 2 |
| <i>Janvier</i> | 1175,00 | 1001,00 | / | / |
| <i>Févier</i> | 989,00 | 779,00 | / | / |
| <i>Mars</i> | 1241,00 | 549,00 | 844,00 | 256,00 |
| <i>Avril</i> | 1472,00 | 407,00 | 792,00 | 178,00 |
| <i>Mai</i> | 1233,00 | 457,00 | 740,00 | 238,00 |
| <i>Juin</i> | 2208,00 | 705,00 | 1277,00 | 370,00 |
| <i>Juillet</i> | 1066,00 | 846,00 | 658,00 | 463,00 |
| <i>Aout</i> | 584,00 | 564,00 | / | / |
| <i>Septembre</i> | 641,00 | 570,00 | 419,00 | 303,00 |
| <i>Octobre</i> | 1242,00 | 1192,00 | 878,00 | 597,00 |
| <i>Novembre</i> | 607,00 | 490,00 | 409,00 | 213,00 |
| <i>Décembre</i> | 486,00 | 557,00 | 523,00 | 237,00 |
| <i>Totale</i> | 12253,00 | 7547,00 | 6540,00 | 2855,00 |
| <i>Totale cpf1+cpf2</i> | 19800 MWh | | 9359 MVARh | |

ANNEXE B

LISTE DES EQUIPEMENTS ET LEURS CONSOMMATION

| Usage Énergétique (UE) | équipements | consommation en tep équipement électricité | consommation en tep gaz équipement combustible | consommation en tep usage | % de consommation totale |
|---------------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|
| Réseau Collecte Puits | transformateurs puits | 3,870 | | 3,870 | 0,00769 |
| boosting | turbine booster I et II | - | 21 546,38 | 21 683,10 | 43,08116 |
| régénération des sècheurs | four de régénération | - | 2 373,10 | 2 712,83 | 5,39001 |
| | compresseur de régénération A/B | 303,339 | - | | |
| | aéro refroidisseurs | 36,394 | - | | |
| air comprimé | compresseur d'air A | 117,725 | - | 380,91 | 0,75682 |
| | compresseur d'air B | 142,287 | - | | |
| | compresseur d'air C | 120,899 | - | | |

| | | | | | |
|---|---|---------|---|--------|---------|
| azote | compresseur azote A/B | 0,495 | - | 0,50 | 0,00098 |
| eau potable | pompes de transfert eau brut A/B | - | - | - | - |
| | pompes de distribution | - | - | | |
| | pompes HP 1ere pass OSMOSE | - | - | | |
| injection chimique | pompe injection inhibiteur de corrosion A/B | 0,279 | - | 0,28 | 0,00055 |
| | pompe injection anti cristaux A/B | - | - | | |
| traitement gaz combustible | réchauffeurs électrique | 13,760 | - | 13,76 | 0,00769 |
| circulation et refroidissement d'amine pauvre | pompe de recirculation d'amine A | 59,916 | - | 176,88 | 0,35143 |
| | pompe de recirculation d'amine B | 25,774 | - | | |
| | Pompe Booster d'amine A | - | - | | |
| | Pompe Booster d'amine B | 87,471 | - | | |
| | aérorrefroidisseurs A/B/C/D/E/F | 3,714 | - | | |
| circulation et chauffage d'huile caloporteuse | Pompe de recirculation d'huile caloporteuse A | 238,822 | - | 2 | 5,22632 |
| | Pompe de recirculation d'huile caloporteuse B | 111,628 | - | | |
| | four d'huile caloporteuse | - | 2 | 280,00 | |
| refroidissement gaz décarbonaté | aéro refroidisseurs A/B | - | - | - | - |

| | | | | | |
|----------------------------------|--|--------|--------------|---------------|----------|
| refroidissement gaz acide CO2 | aéro refroidisseurs A/B | - | - | - | - |
| incinération gaz acide CO2 | incinérateur | - | - | 0,004 | 0,00001 |
| | Souflante de l'incenerateur | 0,004 | - | | |
| éclairage | éclairage totale | 61,920 | - | 61,920 | 0,12303 |
| climatisation | salles de contrôle | 47,379 | - | 47,379 | 0,09414 |
| expédition gaz de vente | turbine GDV I | - | 15 864,62 | 15 921,122 | 31,63295 |
| | aéro refroidisseurs | 56,502 | - | | |
| eau huileuse | pompes de transfert vers bassine d'évaporation | 13,313 | - | 13,313 | 0,02645 |
| eaux usées | pompes de transfert vers bassine d'évaporation | 0,447 | - | 0,740 | 0,00147 |
| | pompe de transfert eaux usées | 0,292 | - | | |
| drainage fermé | pompe de transfert vers séparateur de condensat | - | - | - | - |
| eau déminéralisé | pompes de transfert eau de service A/B | - | - | - | - |
| | pompes de distribution vers décarbonatation | - | - | | |
| | pompes HP 2eme pass OSMOSE | - | - | | |

| | | | | | |
|------------------------------|--|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| système anti incendit | pompes maintien pression | 25,614 | - | 26,1603 | 0,05198 |
| | pompes électrique | 0,000 | - | | |
| | pompes diesel | | 0,5461 | | |
| torchage | maintien des torches HP/BP/bourbier | | 6657,6 | 6657,6 | 13,22768 |

ملخص

كجزء من هذا العمل، يتم إجراء تدقيق للطاقة داخل مرفق المعالجة المركزية لمنطقة غرد النص للشركة الصناعية سوناطراك، بهدف التوصل أخيرا إلى مقترحات مجدية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة للمعدات. تعتمد المنهجية المتبعة على اكتشاف تسربات الطاقة التي قد تظهر من خلال الاحتراق السيئ أو الممارسات كثيفة الاستهلاك للطاقة أو حتى فشل أدوات القياس. للقيام بذلك، تم تحليل بيانات المعدات المتدخلة في هدر الطاقة ودراساتها للتوصل إلى حلول تقلل من استهلاكها. في نهاية هذا التقييم، يبدو أنه يمكن تحقيق توفير في الطاقة من خلال استثمارات معقولة على المدى المتوسط. **الكلمات المفتاحية:** مراجعة الطاقة، توفير الطاقة، استهلاك الطاقة، كفاءة الطاقة.

Abstract

In the scope of this work, an energy audit within the carried out at SONATRACH / DP / RHOURE NOUSS / CPF (Central Processing Facility), to improve the efficiency of structures and reduce energy consumption.

The methodology followed is based on the detection of energy leaks that can manifest themselves through poor combustion, energy-intensive practices or failures of measurement instruments. To do this, data on the equipment involved in the energy waste has been analyzed and studied to find solutions to reduce the energy consumption in the unit.

At the end of this evaluation, it appears that an energy saving can be achieved with reasonable investments over the medium term.

Keywords: Energy audit; Energy saving; energy consumption; energy efficiency.

Résumé

Dans le cadre de ce travail, un audit énergétique est effectué au niveau du SONATRACH/DP/RHOURE NOUSS/CPF (Central Processing Facility), visant pour enfin arriver à des propositions réalisables afin d'améliorer l'efficacité énergétique des équipements. La méthodologie suivie repose sur la détection des fuites de l'énergie pouvant se manifester à travers une mauvaise combustion, des pratiques énergivores ou encore des défaillances des instruments des mesures. Pour ce faire, Les données sur les équipements impliqués dans le gaspillage d'énergie ont été analysées et étudiées pour trouver des solutions permettant de réduire la consommation d'énergie dans l'unité.

A l'issue de cette évaluation, il en ressort qu'une économie d'énergie de l'ordre de réalisée avec des investissements raisonnables sur un moyen terme.

Les mots clés : L'audit Energétique ; L'économie d'énergie ; la consommation énergétique ; L'efficacité énergétique.