



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique - Département de Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

*MEMOIRE DE
POST-GRADUATION SPECIALISEE
« Economie de l'Energie, Maîtrise et Applications »*

Thème

**Audit Energétique de la Raffinerie
d'Alger Cas des tours de refroidissement**

G9005030

Présenté par: A. BOUCHILAOUNE Ingénieur Process Direction Exploitation
SONATRACH
A. KHERRAB Ingénieur d'Etudes CEEG/SONELGAZ

Dirigé par : Pr. E-H. BENYOUSSEF

Soutenu le 01 Février 2010 devant la commission d'examen composée de:

Pr C.E. CHITOUR (ENP)
Pr R. DERRICHE (ENP)
Pr. E-H. BENYOUSSEF (ENP)
M. DJELLOUT (SONATRACH)

Président
Examinatrice
Rapporteur
Invité

PGS0310

Remerciement

Avant tout, on remercie Dieu le tout puissant qui nous a donné la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier notre rapporteur Monsieur E.H BENYOUSSEF professeur à l'école Nationale Polytechnique, pour nous avoir guidé et orienté pendant toute la durée de ce travail.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur C.E CHITOUR professeur à l'école Nationale Polytechnique, pour avoir bien voulu résider le jury et surtout pour avoir mené et dirigé cette PGS du début à la fin en professionnalisme.

On tient à remercier Madame R.DERRICHE professeur à l'école Nationale Polytechnique pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner notre travail.

Que messieurs Z.BOULEKROUNE, Président Directeur Générale de la filiale CEEG/SONELGAZ, A.BENCHOUIA Directeur Général de la Division Raffinage Groupe SONATRACH soient remerciés pour avoir accepté l'invitation de faire partie de ce jury.

Nous

Dédicaces

« *KHERRAB Asma* »

A mes très chers parents, pour leur soutien moral et leur affection

A mes deux frères Belkacem, Kadi et ma sœur Hanane,

A la mémoire de mes grands parents paternel et mon grand père maternel

A ma grande mère

A mon amie : BOUDRIES Sihem et mon collègue ALLOUI Tahar pour leurs soutiens et leurs aides

A tous le personnel de SONELGAZ, qui m'ont soutenu et aidé notamment Messieurs BOULEKROUNE, SID et BENFERHAT ainsi que tous mes collègues du département études de la Direction Engineering Moyens de production.

Une dédicace très spéciale à mon binôme Aziza et toute sa famille,

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédis ce modeste travail

Dédicaces

« Mademoiselle BOUCHILAOUNE AZIZA NACERA »

Je dédie ce travail particulièrement à mon père, ma mère ainsi que ma sœur IMENE et mon ami LAMINE, qui m'ont encouragé et soutenue pendant toute la période de la PGS.

« A ma chère grande mère, je lui souhaite longue vie et santé »

Ma profonde gratitude et mes plus sincères remerciements vont à Monsieur A.BENCHOUIA, Directeur Général de la Division Raffinage Groupe SONATRACH, pour la confiance qu'il m'a témoigné en m'inscrivant en PGD et pour tous ses précieux conseils.

A tous le personnel de la Division Raffinage SONATRACH, qui m'ont soutenu et aidé pour mon travail, notamment Messieurs N.SMAIL et HASNAOUI ainsi que tous mes collègues de la Raffinerie d'Alger et la Direction Exploitation.

Une dédicace très spéciale : à mon binôme ASMA et à toute sa famille. A tous ceux quime sont chers je dédis ce travail.

ملخص / Abstract / Résumé

الموضوع: مراجعة لطاقة مصفاة الجزائر العاصمة، أبراج التبريد
ملخص:

التحكم في استعمال الطاقة هو اليوم من الضرورات الأساسية للاقتصاد ، بما في ذلك الصناعة. في هذا السياق، اقترحنا إجراء التشخيص الكامل عن أداء واستهلاك الطاقة لأبراج التبريد لمصفاة الجزائر، واقترحنا بعض الحلول التقنية لوضع حد لتحسين الكفاءة الطاقية و الحرارية. علما بأن استخدام مثل هذه المعدات تمثل 20 ٪ من الطاقة المولدة في المصفاة

الكلمات الافتتاحية

تدقيق الطاقة – التحكم في استعمال الطاقة -- توفير الطاقة -- تكرير -- أبراج التبريد -- ميزان الحرارة --
طاقة المحركات

Thème : Audit énergétique de la Raffinerie d'Alger, Cas des tours de refroidissement

Résumé

La maîtrise de l'énergie est, de nos jours, une nécessité primordiale de l'économie, notamment pour l'industrie.

Dans ce contexte, nous nous sommes proposés de mener un diagnostic complet sur le fonctionnement et la consommation énergétique des tours de refroidissement de la raffinerie d'Alger et de proposer quelques solutions techniques à fin d'améliorer leurs efficacités thermiques et énergétiques.

Notons que la consommation de ces équipements représente 20% d la production électrique de la raffinerie.

Mots- Clés :

Audit Energétique – Maîtrise de l'énergie - Economie d'énergie – Raffinage -
Tour de refroidissement – Bilan thermique – Puissances moteurs.

Topic: Energy audit of the Refinery of Algiers, Case cooling towers

Abstract

The control of energy is today a basic necessity of the economy, including industry.

In this context, we proposed to conduct a full diagnostic on the performance and energy consumption of cooling towers of the refinery of Algiers and to propose some technical solutions to end to improve efficiency and thermal energy.

Note that the use of such equipment represents 20% of the electricity generated in the refinery

Key Words:

Energy Audit - Energy Efficiency - Saving Energy - Refining - Cooling Tower -
Heat balance - Powers engines.

Sommaire

CHAPITRE I

I.1 LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE	7
I.1.1 LA MAITRISE DE L'ENERGIE POUR L'INDUSTRIEL	7
I.1.2 LA MAITRISE DE L'ENERGIE POUR L'ETAT.....	7
I.2 AUDIT ÉNERGETIQUE	8
I.2.1 OBJECTIFS DE L'AUDIT ÉNERGETIQUE.....	8
I.2.2 CONSISTANCE D'UN AUDIT ENERGETIQUE	8
I.2.3 METHODOLOGIE.....	9
I.2.3.1 conduite du diagnostic	9
I.3 GESTION DE L'ENERGIE DANS L'ENTREPRISE	14
I.3.1 COMPETENCES DEMANDEES AU GESTIONNAIRE « ÉNERGIE »	14
I.3.2 QUALITES DU GESTIONNAIRE D'ENERGIE.....	14
I.3.3 CONTACTS DU GESTIONNAIRE D'ENERGIE.....	15
I.4 ÉTALONNAGE PAR RAPPORT A DES USINES COMPARABLES	16
I.5 AMELIORATION DU CONTROLE DES PROCEDES	18
I.6 SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE « MONITORING & TARGETING »	18
I.7 MODIFICATION LIEE AUX PROCEDES	20
I.8 ÉTUDE D'INTEGRATION DES PROCEDES	21
I.9 L'AUDIT ENERGETIQUE EN ALGERIE	21
I.9.1 OBLIGATIONS D'AUDIT ENERGETIQUE DES ETABLISSEMENTS GRANDS CONSOMMATEURS	22

CHAPITRE II

II.1 HISTORIQUE DE LA RAFFINERIE D'ALGER	23
II.2 DESCRIPTION DE LA RAFFINERIE D'ALGER	25
II.2.1 LES INSTALLATION PRINCIPALES	25
II.2.1.1 Unité de Distillation Atmosphérique (U100)	25
II.2.1.2 Unité de Platforming (U200)	26
II.2.1.3 Unité Gas Plant (U300)	27
II.3 ACTIONS ENGAGÉES PAR LA DIVISION RAFFINAGE POUR UNE MEILLEURE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	31
II.3.1 Amélioration de l'efficacité des tours de refroidissements	32
II.3.2 Installation d'analyseur d'oxygène au four du Topping	32
II.3.3 Récupération des eaux résiduaires	33
II.3.4 Récupération des gaz torchés.....	33

CHAPITRE III

III.1. LES TOURS DE REFROIDISSEMENT	35
III.2. PUISSANCE THERMIQUE D'UNE TOUR DE REFROIDISSEMENT	37
III.3 ÉTUDE DES TOURS DE REFROIDISSEMENT DE LA RAFFINERIE D'ALGER	39
III.3.1 PRINCIPE	39

UNITE DISTILLATION ATMOSPHERIQUE (U100)	39
UNITE PLATFORMING (U200)	40
UNITE TRAITEMENT DES GAZ (U300)	40
III.3.2 TRAITEMENT DE L'EAU DE REFROIDISSEMENT	41
III.3.3 DISSYMETRIE DU RESEAU DE DISTRIBUTION.....	49
III.3.4 DISTRIBUTION AIR/EAU A TRAVERS LE GARNISSAGE	50
III.3.5 GROUPES MOTO-VENTILATEURS	51
CONCLUSION	

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Stratégie d'efficacité énergétique	6
Figure 2. Les Fondements de la Stratégie	6
Figure 3. Consistance d'un Audit Énergétique	8
Figure 4. Méthodologie de l'Audit Énergétique	13
Figure 5. Gestion « énergie » intégrée dans le management	16
Figure 6. Gestion « énergie » liée à une production.....	16
Figure 7. Le schéma général de la raffinerie d'Alger.....	24
Figure 8. Schéma process de l'unité 100 Topping (Distillation atmosphérique).....	28
Figure 10. Schéma Process de l'unité 300 Gaz Plant.....	30
Figure 11. Récupération des gaz torchés.....	33
Figure 12. Types de refroidissement	35
Figure 13. Principe d'un circuit évaporatif	36
Figure 14. Tour à tirage induit et à contre courant	38
Figure 15. Tour à tirage forcé et à contre courant	38
Figure 16. Schéma de la distribution de l'eau de refroidissement dans les trois tours.....	49
Figure 17. Schéma cinématique d'origine des ventilateurs G34, G36 et G38	59
Figure 18. Schéma cinématique des nouveaux ventilateurs.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Importance des dépenses d'énergie dans les raffineries de pétrole	9
Tableau 2. Périodicités et Seuils de consommation des Grands Consommateurs d'Énergie.....	22
Tableau 3. Chronologie des mises en service des Raffineries et capacités de traitement.	23
Tableau 4. Conditions de marche des tours	41
Tableau 5. Paramètres opératoires thermiques des trois tours de refroidissement Juillet 2009	43
Tableau 6. Intensité des moteurs G34 et G36 issues des feuilles de marche 2000	51
Tableau 7. Puissances calculées avec intensités mesurées par ampèremètre	52
Tableau 8. Puissances calculées issues des feuilles de marche	52

INTRODUCTION

La question de l'efficacité énergétique prend de plus en plus d'importance dans le secteur industriel. Cet intérêt grandissant est attribuable à de nombreux facteurs, notamment la fluctuation, l'instabilité du prix de l'énergie, la déréglementation des marchés de l'énergie et la ratification du Protocole de Kyoto, en vertu duquel l'Algérie a convenu de réduire ses émissions des gaz à effet de serre de 6 % sous les niveaux de 1990 au cours de la première période d'engagement (2008-2012).

Dans bien des secteurs industriels, le coût de l'énergie peut représenter une proportion importante des coûts de production. De plus, dans certains secteurs, la concurrence est féroce et les marges de profit sont faibles. L'efficacité énergétique peut représenter l'un des meilleurs moyens pour permettre à une entreprise d'accroître ses marges bénéficiaires, puisque même les procédés industriels considérés comme les plus efficaces consomment plus d'énergie que nécessaire. Il existe donc de multiples opportunités pour aider les entreprises à repérer leurs inefficacités en matière de consommation d'énergie et donc, de réduire leurs factures énergétique et leurs impacts environnementaux.

Dans ce cadre nous nous sommes proposés de mener un audit énergétique des tours de refroidissement de la raffinerie d'Alger.

La première phase de cet audit a pris la forme de plusieurs missions sur site afin de collecter le maximum de données nécessaires à cet effet (plans, feuilles de marche, fiches techniques ...). Il est à noter que la collecte des données n'a pas été une tâche facile, vu le manque d'une base de données centrale informatisée.

Les résultats de l'examen des données et l'exploitation des différents documents et relevés opératoires relatifs aux tours de refroidissement nous ont permis de calculer :

- L'approche humidité (approche entre la température en sortie des tours et la température bulbe humide) ;
- Les différences de températures des trois tours,
- Les puissances thermiques des trois tours,
- Les puissances électriques avec intensités mesurées par ampèremètre sur site ;
- Les puissances électriques issues des feuilles de marche.

Ces calculs ont conduit à l'établissement d'un diagnostic du fonctionnement actuel par rapport au design avec identification des éventuels contraintes ou dysfonctionnements

Enfin nous terminerons par des recommandations dans le but de remédier à ces contraintes ou dysfonctionnements et de réduire la consommation d'énergie des tours de refroidissement.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE

Il y a de nombreux outils, méthodes et approches qui visent à améliorer l'efficacité énergétique des procédés industriels. Les plus répandus sont présentés ci-dessous dans la Stratégie d'efficacité énergétique (figure1).

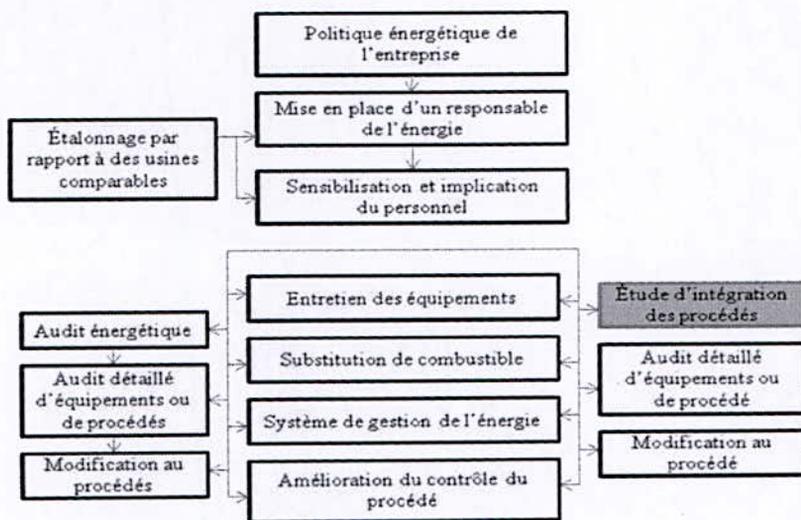


Figure 1. Stratégie d'efficacité énergétique

Les techniques d'intégration des procédés, combinées à d'autres méthodes présentées dans la stratégie d'efficacité énergétique, sont reconnues comme étant les plus appropriées pour les installations industrielles complexes et d'envergure où l'on veut accroître l'efficacité des procédés et réduire de façon rentable la consommation d'énergie. L'objectif de la politique énergétique d'une entreprise est de montrer l'engagement de sa direction à l'égard de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Elle peut aussi souligner son engagement à l'égard du principe de réduction, de réutilisation et de recyclage des matières premières. La politique énergétique d'une entreprise, doit clairement souligner que l'atteinte des objectifs en matière d'efficacité énergétique, constitue un investissement qui à long terme contribue à la durabilité de ses activités. De plus, elle doit être communiquée au personnel et au grand public par le biais de babillards, de bulletins ou d'autres annonces, donc les fondements de la stratégie sont basés sur la concertation et le partenariat(figure2). [1]

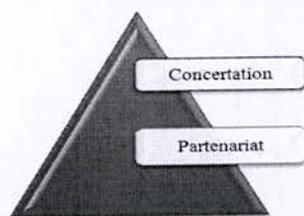


Figure 2. Les Fondements de la Stratégie

I.1 LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE [1]

La maîtrise de l'énergie (MDE) regroupe les actions et techniques permettant de diminuer la consommation de l'énergie pour la fabrication du produit et prestation de service et par conséquent contribuer à la protection de l'environnement.

La maîtrise de l'énergie répond à un quadruple souci :

- Potentiel d'efficacité énergétique ;
- La préservation des ressources énergétiques ;
- La préservation des capacités de financement ;
- La protection de l'environnement.

I.1.1 La maîtrise de l'énergie pour l'industriel

La maîtrise de l'énergie pour l'industriel se traduit par une réduction des coûts de production, une amélioration de la compétitivité, une introduction des technologies modernes, une amélioration de l'image de l'entreprise, une préparation au réajustement de la tarification de l'énergie ainsi qu'une réduction des émissions polluantes liées à la consommation d'énergie en particulier les gaz à effet de serre (GES), car Le protocole de Kyoto et certaines réglementations nationales imposent un effort de réduction des consommations énergétiques et notamment une amélioration de l'efficacité énergétique.

I.1.2 La maîtrise de l'énergie pour l'état

La maîtrise de l'énergie pour l'état se traduit par la création d'un marché, de valeur ajoutée et d'emplois:

- Études, audits;
- Travaux additionnels;
- Maintenance additionnelle;
- Gestion de l'énergie ;
- Réduction des coûts d'infrastructures liés à la production, transport et distribution d'énergie ;
- Préservation des ressources énergétiques.

I.2 AUDIT ÉNERGETIQUE [2]

On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements des établissements industriels, de transport et du tertiaire, en vue de l'optimisation énergétique et économique de leur fonctionnement.

I.2.1 Objectifs de l'Audit Énergétique

- Réaliser des économies par l'augmentation des performances des procédés étudiés ;
- Réduction de la consommation d'énergie ;
- Analyser les flux énergétiques pour mieux les contrôler ;
- Identifier les économies potentielles d'électricité et de gaz naturel de fuel, de vapeur et d'air comprimé mais aussi d'eau ;
- Améliorer la transparence des données énergétiques de l'entreprise ;
- Trouver un compromis entre la dimension écologique et l'optimum économique.

I.2.2 Consistance d'un audit énergétique[2]

L'audit énergétique est constitué principalement des démarches suivantes :

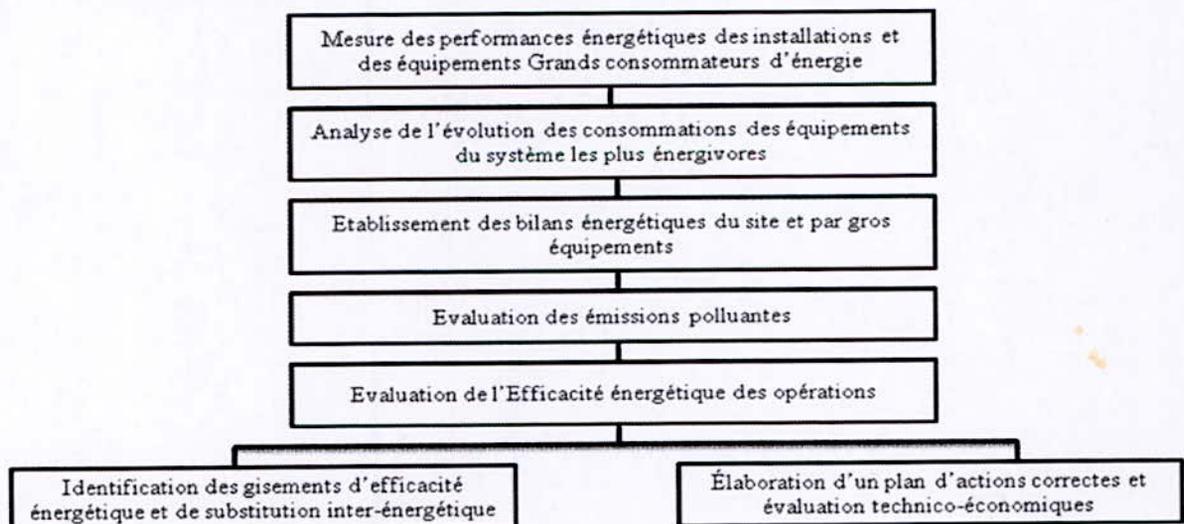


Figure 3. Consistance d'un Audit Énergétique

I.2.3 Méthodologie[2]

L'approche de la meilleure solution du problème de maîtrise de l'énergie est toujours à faire par deux voies :

- **Un diagnostic approfondi** : en s'appuyant sur une analyse précise des flux d'énergie, il met en évidence les pertes et dresse la liste des améliorations possibles, avec étude de leurs faisabilités technique et économique. Ce diagnostic nécessite souvent des mesures ponctuelles, il doit aussi présenter un plan pour la mise en œuvre de moyens de mesure et de comptage permanent, permettant au personnel de réaliser par la suite le suivi des installations et d'en détecter les dysfonctionnements.

Ce diagnostic a pour but la mise au point d'un plan d'économie d'énergie, classant les propositions faites en deux catégories :

- modifications ne mettant en œuvre que des investissements faibles ou nuls,
- modifications impliquant des investissements importants.

Il doit évaluer l'incidence de ces modifications sur le bilan énergétique global de l'établissement, il est suivi des phases de réalisation pour les modifications retenues (fig.4).

- **La mise en œuvre de mesures de sensibilisation, de formation et d'incitation du personnel aux économies d'énergie.**

Tableau 1. Importance des dépenses d'énergie dans les raffineries de pétrole

■ RAFFINERIES DE PÉTROLE (consommations en % du tonnage traité)			
Unités	Combustible direct (fours)	Combustible indirect (vapeur)	Total
Distillations	1,5 à 2	0,5	2 à 2,5
Réformeur catalytique	8	1	9
Vapocraqueur..	16	3	19
Au total, 5 à 6 % du produit traité sont consommés par la raffinerie.			

I.2.3.1 conduite du diagnostic [3]

Le déroulement d'ensemble d'un diagnostic type est schématisé sur la figure 4. Ce schéma, correspondant à l'étude d'un établissement gros consommateur, peut être allégé pour les établissements faibles consommateurs.

Le diagnostic se déroule en trois étapes :

Étape 1 : collecte des données et examen sur place

Il convient de procéder d'abord à un examen global puis détaillé des installations et des consommations, l'examen de détail perfectionnant progressivement la connaissance globale.

➤ Visite préliminaire.

Le diagnostic commence par une visite préliminaire au cours de laquelle l'expert (extérieur ou faisant partie de la société) s'entretient avec les principaux responsables de l'établissement pour leur expliquer les buts de l'étude et la méthode employée, lister les informations nécessaires et les moyens matériels qui devront être mis à sa disposition.

Il recueille dès ce stade, un certain nombre de données générales (production en nature et en volume, rythme des activités, principales consommations de matières et d'énergie, organisation générale de la production) ainsi que les données économiques nécessaires (prix des énergies, critères de rentabilité, perspectives d'évolution de l'établissement, etc.) il s'informe également des contraintes particulières à l'établissement.

Dans le cas d'un établissement complexe et gros consommateur, l'usine ou l'entreprise met en place une structure assurant le suivi de l'étude, nomination d'un responsable interne (qui est le responsable énergie ou son adjoint direct) composition de groupes de travail et de réflexion, destinataires des notes d'état d'avancement et du rapport final. Des instructions, de préférence écrites, doivent préciser, comment le responsable interne pourra intervenir auprès des services intéressés pour obtenir leur collaboration, services de production, d'entretien, comptable, financier, etc.

L'expert effectue alors une visite des installations pour les examiner et recueillir des informations complémentaires sur leur état, pour indiquer aux responsables de l'usine les aménagements qui devront être éventuellement effectués pour permettre la réalisation de mesures physiques. Un programme de travail précis est alors établi en accord avec les responsables de l'usine ou l'entreprise pour la suite des opérations, tenant compte en particulier des délais nécessaires à l'installation des appareils de mesure.

L'expert remet avant son départ :

- Des documents de collecte d'informations qu'il appartiendra à l'entreprise de compléter.
- Une liste des relevés complémentaires à établir, pour améliorer la connaissance des

performances, qui seront généralement effectués :

- Par les services de l'entreprise dans le cas d'établissements gros consommateurs,
- Par l'expert lui-même dans le cas d'établissements petits ou moyens consommateurs,
- Le programme d'installation des appareils permettant la campagne de mesures.

➤ **Examen sur place.**

Cet examen commence dans un délai pouvant être de l'ordre d'un mois à compter de la visite préliminaire, la campagne de mesures physiques est programmée de façon à recueillir, en priorité, les données nécessaires à l'établissement de bilans détaillés portant à la fois sur les matières et l'énergie en mettant en évidence des ratios significatifs. Ces bilans sont effectués à plusieurs niveaux :

- Au niveau global de l'entreprise ;
- Au niveau de chacun des ateliers, unités ou lignes de fabrication ;
- Au niveau de chacun des systèmes ou réseaux énergétiques (système vapeur, électricité, eau, air comprimé, etc.) ;
- Au niveau des équipements les plus consommateurs.

Lorsque les mesures mettent en évidence des valeurs d'efficacité anormalement basses, des investigations complémentaires peuvent être décidées. Dans certaines industries, on peut être amené à s'intéresser à des étapes de fabrication dont la consommation d'énergie est très faible, mais dont le déroulement correct conditionne la consommation des étapes en aval (par exemple : essorage avant séchage).

Étape 2 : Analyse et évaluation du potentiel d'économies d'énergie

➤ **Suivi des consommations énergétiques**

Il s'agit de l'étude des documents des collectes existants, de la comparaison aux méthodes suivies de façon courante dans la profession, de la validation de l'exploitation des données faites par l'usine ou l'entreprise. Cela peut conduire à définir et à calculer divers ratios, qui permettent fréquemment, par comparaison avec ceux constatés dans des établissements similaires, une première évaluation de la performance de l'établissement. Ces ratios serviront en outre par la suite à l'établissement à apprécier l'évolution dans le temps des performances et le résultat des actions entreprises.

➤ **Examen du mode d'exploitation des installations.**

Cet examen porte sur l'organisation générale de la production, l'enchaînement et la programmation, le planning, les horaires (par exemple, aménagement en fonction de la tarification électrique) et le mode de conduite et d'entretien des installations : consignes données au personnel, état du matériel de contrôle et de régulation, fourniture des informations nécessaires à une conduite efficace, niveau de formation du personnel et actions à prévoir à ce titre.

➤ **Actions impliquant des investissements.**

Certaines interventions nécessitent des investissements à savoir :

- Procédés de fabrication moins coûteux en énergie;
- Aménagement du processus de production (par exemple, transfert direct des fluides chauds d'une unité à l'autre sans stockage intermédiaire, etc.) ;
- Modifications du matériel existant ou équipements supplémentaires;
- Remplacement du matériel existant par du matériel plus performant ;
- Utilisation de rejets thermiques;
- Utilisation des déchets ou d'autres formes d'énergie que celles utilisées, etc.

Ces actions ne sont généralement pas indépendantes les unes des autres ; il convient alors de les sélectionner et de les regrouper dans un ensemble cohérent.

Étape 3 : Conclusions et préconisations, plan directeur énergie

Après examen et discussion des propositions avec les services concernés et les responsables de l'établissement, ces dernières sont regroupées sous la forme d'un plan directeur énergie (pouvant s'étendre par exemple sur deux à cinq ans) qui comprend :

- La liste des actions retenues (avec leur coût, le gain attendu et leur rentabilité) ;
- Révolution prévue pour les principaux ratios significatifs ;
- Les quantités d'énergie économisées et l'évolution de la facture énergétique ;
- Les besoins de financement.

Quatre aspects sont en général à examiner successivement au cours du diagnostic énergie :

Les procédés, les bâtiments, les vecteurs énergétiques fluides, électricité, froid, air comprimé, ainsi que la gestion d'ensemble des problèmes énergétiques.

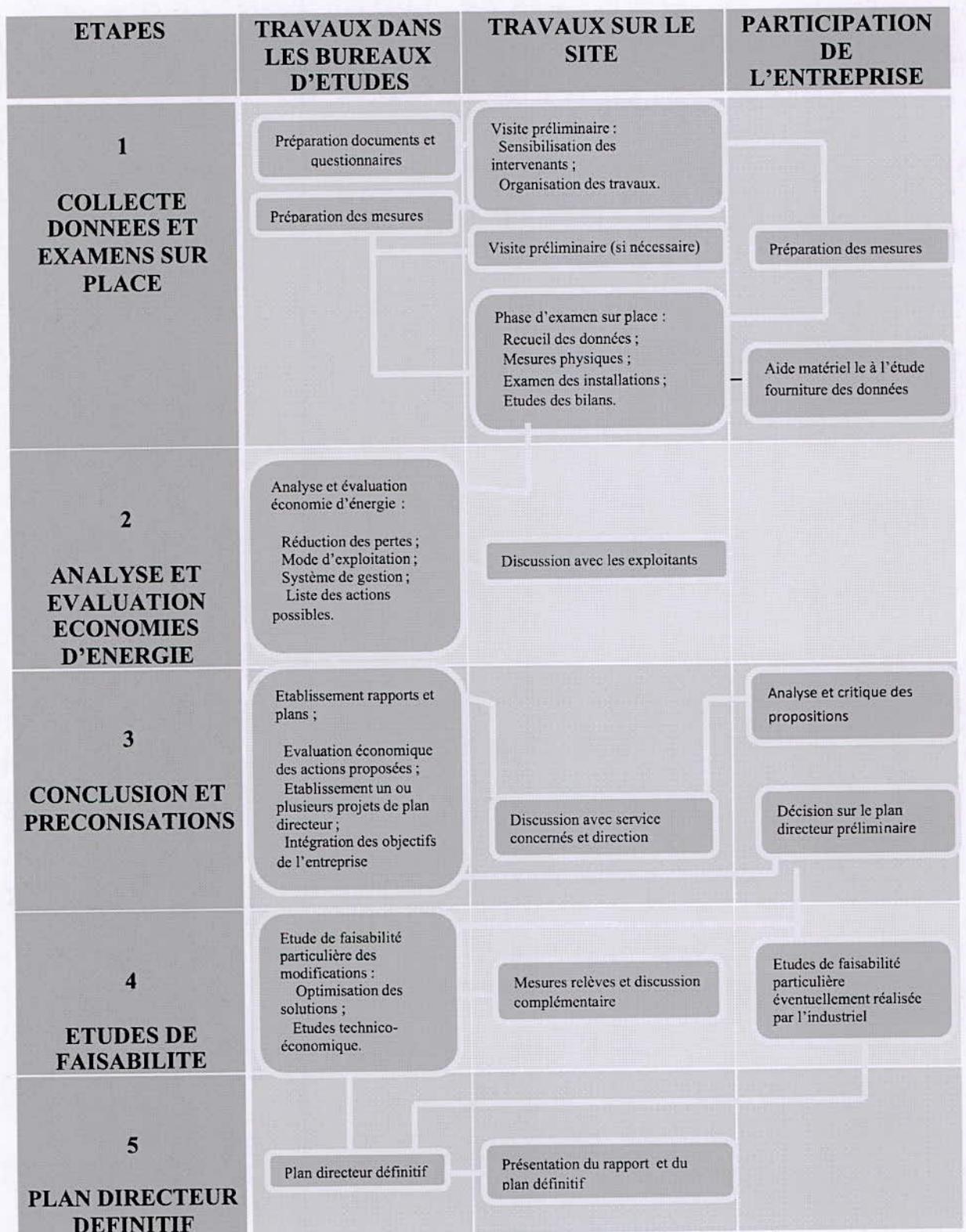


Figure 4. Méthodologie de l'Audit Énergétique

I.3 GESTION DE L'ENERGIE DANS L'ENTREPRISE[3]

La gestion de l'énergie dans l'entreprise est l'administration de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie, ayant pour objectif principal la réduction des coûts de l'énergie tout en préservant l'environnement, ses moyens sont les suivants :

- Bonne gestion courante de l'énergie « Energy conservation » ;
- Système de récupération de l'énergie « Energy recovery » ;
- Système de substitution de l'énergie « Energie substitution » ;
- Intégration des processus de production « Energie integration ».

I.3.1 Compétences demandées au gestionnaire « Energie »

- 1- Connaissances techniques :
 - Technologie de l'énergie ;
 - Technologie de la mécanique, de l'électricité ;
 - Technologie des systèmes automatiques de contrôle ;
 - Technologie des processus de fabrication des produits ;
 - Technique de maintenance et de planning.
- 2- Connaissances administratives :
 - Technique de l'organisation ;
 - Gestion des stocks ;
 - Transfert d'informations ;
 - Système de budgétisation.
- 3- Connaissances financières :
 - Comptabilité ;
 - Technique de financement ;
 - Technique d'aide à la décision d'investir.
- 4- Connaissances éducatives :
 - Formation et motivation du personnel concerné ;
 - Information interne.

I.3.2 Qualités du gestionnaire d'énergie

- 1- Esprit de communication
 - Écouter et comprendre et expliquer clairement
 - Accepter et appréhender la culture de l'entreprise ;
 - Motiver au changement et à l'innovation.

- 2- Ouverture d'esprit :
 - Continuité dans l'apprentissage de l'information ;
 - Vérification de l'information ;
 - Adaptation aux changements ;
 - Remise en question des connaissances acquises.
- 3- Esprit d'organisation et de décision :
 - L'autorité est acceptée lorsqu'elle est motivée ;
 - Acceptation et valorisation des compétences existantes ;
 - Clartés dans la définition des tâches ;
 - Esprit d'équipe.

I.3.3 Contacts du gestionnaire d'énergie

Les contacts du gestionnaire avec les services de l'entreprise sont en particulier avec :

- Comité de direction ;
- Production ;
- Service d'achat ;
- Service de maintenance ;
- Service de comptabilité.

Les contacts du gestionnaire avec les différents organismes extérieurs sont en particulier avec:

- Ministère des énergies « service de l'énergie » ;
- Les fournisseurs de combustibles, les compagnies d'électricité ;
- Les autorités des services de gestion de l'environnement ;
- Les fournisseurs d'équipements industriels;
- Les instituts de formation (universités, écoles polytechnique..);
- Les laboratoires d'essais ;
- Les autres staffs de management d'énergie ;
- Les médias.

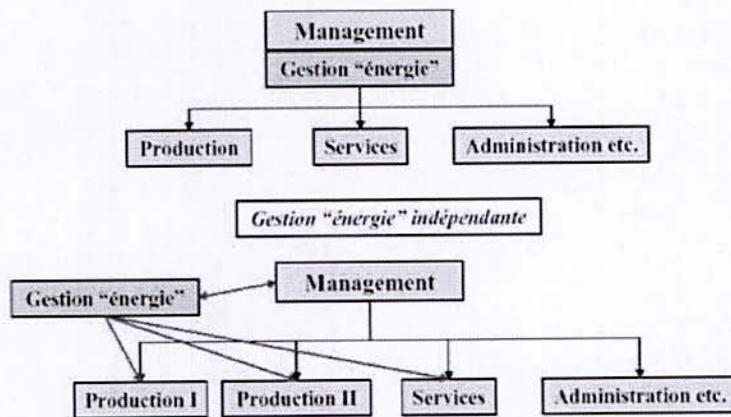


Figure 5. Gestion « énergie » intégrée dans le management

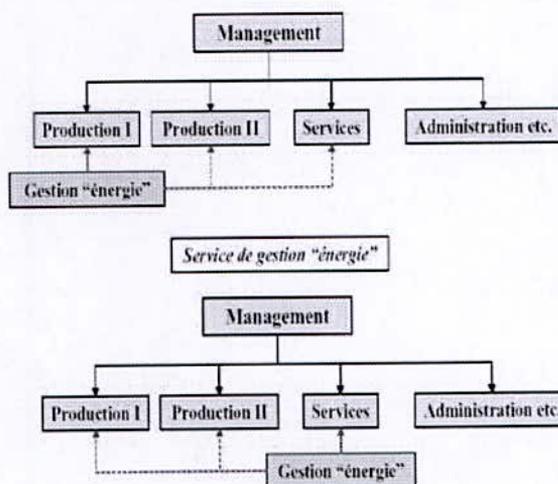


Figure 6. Gestion « énergie » liée à une production

I.4 ÉTALONNAGE PAR RAPPORT A DES USINES COMPARABLES [3]

L'étalonnage par rapport à des usines comparables (« Benchmarking ») est un outil d'analyse comparative qui permet à une organisation d'évaluer son rendement relativement à celui des autres usines similaires du même secteur, notamment par rapport aux usines les plus performantes, en se basant sur des paramètres tels que la consommation d'énergie, le coût de l'énergie, la technologie de production utilisée ou d'autres facteurs financiers ou techniques. De plus, elle peut donner une indication du potentiel d'amélioration de la consommation énergétique d'un secteur industriel.

Cette analyse comparative présente les résultats d'une collecte de données effectuée dans un secteur industriel donné, ainsi que de l'information sur les meilleurs et les moins bons rendements enregistrés à l'égard des différents paramètres mesurés. Elle indique jusqu'à quel point d'autres compagnies utilisent leurs ressources de façon efficace. L'objectif est d'atteindre et même de dépasser la moyenne sectorielle en adoptant et en adaptant les meilleures pratiques en termes d'économie d'énergie de façon à demeurer compétitif.

Le « benchmarking » donne aux dirigeants et au personnel de l'usine ou l'entreprise des orientations pour trouver les procédés et équipements les plus prometteurs. Cependant, pour être efficace, cette analyse doit être effectuée au niveau de chaque procédé ou équipement d'importance. Elle doit aussi considérer chaque source d'énergie (par exemple : électricité, gaz, huile, etc.) de façon séparée, si elle est basée sur des statistiques globales concernant la consommation d'énergie de l'ensemble de l'usine ou de l'entreprise, elle ne fournit, que peu d'indications sur les inefficacités énergétiques et ne permet donc pas d'identifier les procédés ou équipements qui nécessitent une attention particulière en vue d'en améliorer l'efficacité énergétique.

Les renseignements de base qui permettent de réaliser une analyse comparative efficace sont :

- La connaissance de l'usine ou de l'entreprise;
- La connaissance de l'efficacité énergétique moyenne de l'industrie ;
- La connaissance de l'efficacité énergétique et des pratiques des chefs de file de l'industrie.

Lorsque les résultats de cette analyse sont connus, on peut intégrer les meilleures pratiques de l'industrie ou effectuer un audit énergétique détaillé sur les procédés ou équipements où le rendement énergétique est faible et où il est probable qu'il existe des possibilités d'amélioration. Pour les procédés complexes qui comportent de nombreux procédés devant être chauffés ou refroidis, l'intégration des procédés est généralement la meilleure méthode pour améliorer l'efficacité énergétique de façon rentable.

I.5 AMELIORATION DU CONTROLE DES PROCEDES[3]

Les systèmes de contrôle détectent les perturbations du procédé et initient les réactions qui permettront de réduire ces variations et de faire en sorte que les équipements fonctionnent aussi près que possible de conditions prédéfinies.

Les avantages associés au contrôle des procédés sont liés à la réduction de la variabilité des paramètres du procédé (débits, températures, etc.), ce qui permet d'exploiter l'usine ou de l'entreprise le plus près possible de sa capacité de production maximale. En outre, en réduisant la variabilité, on réduit la consommation d'énergie en diminuant par exemple le débordement des réservoirs d'eau chaude dans les effluents ou la nécessité de devoir recommencer la production lorsqu'on n'atteint pas les spécifications en matière de qualité.

Pour améliorer le contrôle des procédés, il faut avoir une bonne connaissance du comportement du procédé et disposer des contrôleurs et autres instruments requis pour faire des interventions efficaces.

I.6 SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE « MONITORING & TARGETING »

L'expression anglaise « Monitoring & Targeting (M&T) » fait référence à un système de gestion de l'énergie qui permet de mesurer, d'analyser, de diagnostiquer et de rapporter la consommation d'énergie des procédés, dans le but d'identifier les endroits où la consommation énergétique est excessive.

L'implantation d'un système de gestion de l'énergie nécessite un logiciel d'analyse, de l'instrumentation et des travaux techniques pour sa conception et sa mise en place. Son objectif est de mesurer, d'afficher, d'enregistrer la production et l'utilisation de l'énergie sous toutes ses formes. La consommation réelle de chaque procédé de l'usine ou de l'entreprise peut être comparée à des objectifs établis en fonction de la production et d'autres conditions d'exploitation. Les résultats sont présentés clairement (habituellement dans des tableaux et diagrammes) de façon à ce que les mesures nécessaires soient prises, pour améliorer le rendement énergétique et réduire le coût de l'énergie. Le système de gestion de l'énergie fournit des données vitales, qui permettent de faire l'analyse comparative entre divers sites de production, d'élaborer un profil énergétique pour une certaine

période, ainsi que de planifier et de vérifier l'impact des projets d'économie d'énergie.

L'objectif de ce système de gestion de l'énergie est essentiellement de mesurer précisément la consommation d'énergie, de la comparer à un ensemble de normes élaborées à l'aide de l'expertise du personnel de l'usine ou de l'entreprise et du comportement passé du procédé, ainsi que de la vérifier régulièrement en fonction d'indicateurs de performance. Lorsque le processus de surveillance est lancé, on établit des objectifs pour inciter tout le personnel impliqué à améliorer le rendement énergétique au-delà de la valeur cible préétablie (souvent en fonction de la moyenne de l'industrie). Les principaux avantages associés à la mise en place d'un tel système sont :

- Amélioration du rendement énergétique des équipements et procédés ;
- Réduction des coûts énergétiques ;
- Amélioration de la prise de décisions relatives à l'exploitation et à l'investissement ;
- Amélioration du contrôle des pratiques d'exploitation pouvant mener à l'amélioration de la qualité du produit et à la réduction des pertes.

Lors de l'implantation d'un système de gestion de l'énergie, il faut se servir le plus possible de l'instrumentation utilisée pour le contrôle du procédé. Cependant, de l'instrumentation supplémentaire est souvent nécessaire pour assurer l'efficacité du système. Il existe des similitudes entre les objectifs du contrôle des procédés et ceux de la gestion de l'énergie. D'un point de vue énergétique, les deux approches ont comme objectif que le procédé soit exploité le plus près possible des paramètres prédéfinis. Mais il existe aussi des différences : les contrôleurs de procédés réagissent automatiquement lorsqu'une fluctuation importante se manifeste, alors que le système de gestion de l'énergie nécessite l'intervention d'une personne pour trouver les causes des écarts et prendre les mesures appropriées [3].

Le système de gestion de l'énergie est un complément essentiel au système de contrôle des procédés, parce qu'il permet de repérer les endroits où la consommation d'énergie est anormalement élevée en raison :

- Du mauvais fonctionnement du système de contrôle des procédés par exemple, causé par le manque de dispositifs de contrôle, leur mauvais calibrage ou par la défaillance des instruments ;
- De l'encrassement d'échangeurs de chaleur ;
- Du mauvais fonctionnement d'une vanne qui laisse la vapeur s'échapper ou qui fait trop chauffer l'eau.

D'une certaine façon, le système de gestion de l'énergie peut aussi être considéré comme un système de détection de défaillances.

I.7 MODIFICATION LIEE AUX PROCEDES[3]

La modification liée aux procédés fait référence aux changements et améliorations technologiques apportés aux procédés ou équipements et qui permettent de réduire la consommation d'énergie. Ces changements ou améliorations sont en général justifiés par l'amélioration de la qualité et de la fiabilité du produit et par l'augmentation de la production qui en résulte. L'intensité énergétique (c'est à dire la consommation d'énergie par unité de production) est rarement le principal facteur qui incite les dirigeants d'une usine à modifier les procédés. Cependant, les économies d'énergie qui en résultent peuvent jouer un rôle majeur pour obtenir une période de retour sur investissements acceptable, lors de l'implantation de ce type de projet. À cet effet, ces changements peuvent avoir des répercussions importantes sur la consommation d'énergie.

Des exemples de modifications pouvant être apportées aux procédés pour réduire la consommation d'énergie incluent notamment la mise en place d'un système de reformage adiabatique dans les usines d'ammoniaque.

La modification des procédés requiert souvent un important investissement en capital, mais elle peut apporter des avantages considérables en ce qui concerne l'augmentation de la capacité de production et la réduction des coûts d'exploitation.

I.8 ÉTUDE D'INTEGRATION DES PROCÉDES[3]

L'intégration des procédés (IP) est l'une des approches les plus efficaces pour réduire la consommation d'énergie d'installations industrielles complexes et de grande envergure. Elle est aussi valable pour les usines de plus petite taille avec un procédé relativement complexe. Les techniques d'intégration des procédés permettent de sélectionner ou de modifier les étapes d'un procédé, ainsi que la façon dont ses différentes parties sont interconnectées et interagissent, dans l'objectif de minimiser l'utilisation des ressources. Parmi les techniques d'intégration des procédés, l'analyse Pinch est la plus fréquemment utilisée.

L'intégration des procédés est une approche beaucoup plus détaillée que les audits énergétiques sommaires (préliminaire) puisqu'elle permet d'analyser une usine ou l'entreprise de façon globale et systématique. Elle peut être utilisée dans le cadre de la conception de nouvelles installations ou de la modernisation d'installations existantes de façon à ce que l'énergie, l'eau et les matières premières soient utilisées de façon optimale. Dans le cadre d'une étude d'intégration des procédés, on n'effectue généralement pas l'analyse détaillée d'un équipement ou d'un procédé complexe, mais l'on tient toujours compte de l'interaction de cet équipement ou procédé avec les autres parties de l'usine ou l'entreprise.

De plus, une étude d'intégration des procédés permet d'identifier les équipements ou procédés qui pourraient bénéficier d'un audit énergétique détaillé en vue de réaliser des économies d'énergie supplémentaires.

I.9 L'AUDIT ENERGETIQUE EN ALGERIE [4]

L'audit énergétique en Algérie est basé sur la Loi de la maîtrise de l'énergie N° 99-09 du 28 juillet 1999 et le Décret exécutif de l'audit énergétique N°05-495 du 26.12.2005

Les modalités de concrétisation de la loi sur la maîtrise de l'énergie s'appuie sur :

- **APRUE : Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie**

Instrument de mise en œuvre de la politique de maîtrise de l'énergie (Art 37 de la loi 99-09) qui a pour vocation d'animer et de coordonner la mise en œuvre de la politique de

maîtrise de l'énergie et l'organisation de partenariats pour l'élaboration, la proposition et la mise en œuvre de programmes concertés dans l'ensemble des secteurs

➤ **P N M E : Programme National de Maîtrise de l'Énergie**

Définit les orientations, les objectifs et les moyens de mise en œuvre de la politique de maîtrise de l'énergie. Il sert de cadre à l'ensemble des programmes et projets de maîtrise de l'énergie émanant des opérateurs économiques (Décret exécutif n°04-149 du 19 mai 2004).

➤ **CIME : Le Comité Intersectoriel de Maîtrise de l'Énergie**

Il représente un espace de concertation, c'est un organe consultatif auprès du Ministre de l'Énergie. (Décret exécutif n° 04-149 du 19 mai 2004).

➤ **F N M E : Fonds National de Maîtrise de l'Énergie**

Loi de finance 2000, selon Art 64: instituant une taxe sur les ventes des produits énergétiques aux industriels, ainsi que sur les autoconsommations du secteur énergétique (Art 91 : création du FNME)

I.9.1 Obligations d'audit énergétique des établissements grands consommateurs

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

Tableau 2. Périodicités et Seuils de consommation des Grands Consommateurs d'Énergie

Type d'établissement	Seuil de consommation fixé tep/an	Périodicité
Industriels	≥ 2000	03 ans
Transport	≥ 1000	03 ans
Tertiaire	≥ 500	05 ans

CHAPITRE II

LA RAFFERIE D'ALGER HISTORIQUE ET PRESENTATION

II.1 HISTORIQUE DE LA RAFFINERIE D'ALGER

A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans le groupe SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP-NAFTAL). En 1988, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution et érigé en entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Algérie. En Avril 1998, l'Entreprise devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding Raffinage et chimie du groupe SONATRACH avec un capital social de 12 000 000 000 de DA dénommée Société Nationale de Raffinage de Pétrole NAFTEC Spa. En Juin 2009 NAFTEC est réintégré par le groupe SONATRACH et fait partie intégrale de l'activité aval et devient Division Raffinage. [5]

Tableau 3. Chronologie des mises en service des Raffineries et capacités de traitement.

Raffinerie	Description	Démarrage	Capacité [T/an]	BRI ¹ [T/an]
RHM ₁	1 ^{ère} Raffinerie de Hassi Messaoud	1962	166500	-
RA ₁ G	1^{ère} Raffinerie d'Alger	1964	2,70.10⁶	-
RA ₁ Z	1 ^{ère} Raffinerie d'Arzew	1972	2,50.10 ⁶	279000
RHM ₂	2 ^{ème} Raffinerie de Hassi Messaoud	1979	1,07.10 ⁶	-
RA ₁ K	1 ^{ère} Raffinerie de Skikda	1980	15,0.10 ⁶	277000
RIA	1 ^{ère} raffinerie d'In Amenas	1980	300000	-
Capacité totale de raffinage 2009		21,70.106 T/an		

La raffinerie d'Alger est Implantée à Sidi Arcine à cinq kilomètres d'El Harrach et à vingt kilomètres à l'Est d'Alger sur une superficie de 200 hectares. La raffinerie d'Alger a été mise en service en 1964 avec une capacité de traitement de pétrole brut de 1.6 millions de tonnes par an, portée à 2.7 millions de tonnes par an en 1970. Elle est orientée vers la production des **GPL** (Butane, Propane), et des **carburants** (Essence Normale et Super, Le kérosène (JetA1), Le **Gasoil**, Le **Naphta**, Le **Fuel BTS**). L'excédent en Fuel et Naphta est exporté. Le schéma général de la raffinerie d'Alger est représenté sur la (Figure 5).

¹ Brut Réduit Importé c'est le résidu obtenu de la distillation atmosphérique d'un pétrole lourd qui est importé pour la fabrication des bitumes.

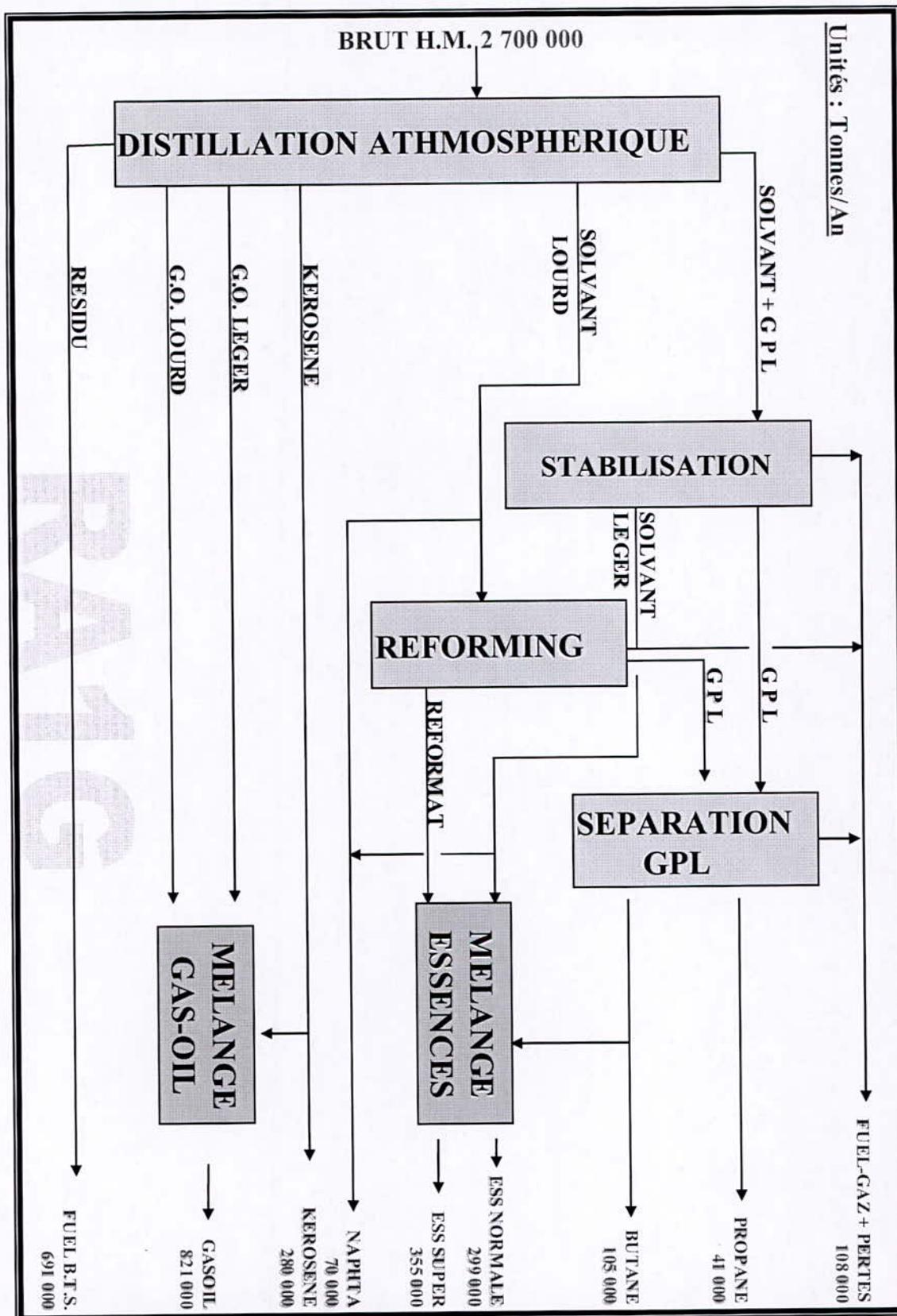


Figure 7. Le schéma général de la raffinerie d'Algier

II.2 DESCRIPTION DE LA RAFFINERIE D'ALGER [6]

La raffinerie d'Alger est constituée des installations principales qui sont directement liées au pétrole et à sa production, ainsi que les installations secondaires mais importante pour le bon fonctionnement des installations principales.

II.2.1 Les installation principales

II.2.1.1 Unité de Distillation Atmosphérique (U100)

A partir des bacs de stockage le pétrole brut de Hassi Messaoud ou le mélange de brut Hassi Messaoud et de condensât Hassi R'mel, est pompé à une température de 27 C° au moyen de trois (03) pompes verticales, le brut chauffé quitte l'échangeur pour entrer dans le dessaleur ensuite dans trois échangeurs où c'est le reflux circulant intermédiaire qui lui fournira de la chaleur.

Le brut ainsi chauffé, entre dans le ballon de détente sous contrôle de niveau, dans le ballon de détente le brut se débarrasse d'une partie des produits légers, ainsi que de l'eau restant encore dans la charge et qui est susceptible de corroder les tubes du four. le brut s'échauffe par échange thermique avec le gasoil léger, le reflux circulant inférieur et une partie du résidu chaud, à la sortie de l'échangeur, le brut se trouve porté à une température convenable de l'ordre de 227°C (voir Figure 08).

➤ Section de distillation atmosphérique

La colonne atmosphérique est la pièce principale de l'unité de distillation atmosphérique, c'est une colonne qui comprend **49 plateaux**, dont **6** se trouvent dans la section d'épuisement et sont séparés des autres par la zone d'expansion où vient se détendre le brut partiellement vaporisé. Cette détente provoque la séparation du liquide (brut réduit initial) qui descend vers la section d'épuisement, et de la vapeur qui monte vers la section de rectification, avant son entrée dans la colonne atmosphérique, le brut reçoit les vapeurs flashées du ballon de détente.

Les six plateaux du fond travaillent à l'épuisement du brut réduit initial par un stripage à la vapeur d'eau surchauffée sous contrôle manuel ce qui permet de le débarrasser des produits légers et d'obtenir au fond de la colonne un résidu à point de flash correct.

➤ **Section de stabilisation**

La colonne de stabilisation ou de débutanisation a pour but de séparer les gaz liquéfiés de l'essence totale, et de permettre ensuite à la colonne de redistillation de séparer l'essence débutanisée du solvant léger.

Le produit de tête formé par les gaz liquéfiés est recueilli dans le ballon de recette après condensation à travers l'aéroréfrigérant, une partie de la phase liquide est envoyée vers l'unité des gaz plant (U 300) par une pompe après refroidissement dans un autre aéroréfrigérant. L'autre partie assure l'équilibre thermique par un reflux froid envoyé sous contrôle de débit au sommet de la colonne par une pompe.

➤ **Section de redistillation**

La colonne de redistillation permet de séparer la coupe d'essence débutanisée, obtenue comme produit de tête de cette colonne du solvant léger, soutiré au fond et qui constitue l'alimentation principale de l'unité de reforming catalytique.

➤ **Section de mélange des produits**

Cette section est destinée à mélanger certaines coupes ou produits obtenus dans les sections précédentes, afin, de préparer d'autres produits commerciaux ayant des spécifications bien déterminées quant à leur point de flash, viscosité, point de congélation et densité...etc.

Les constituants de base sont le résidu atmosphérique, le gasoil lourd, le gasoil léger, ainsi que le kérosène qui, par le mélange en proportions définies permettent de préparer le fuel oil et le gasoil moteur.

II.2.1.2 Unité de Platforming (U200)

Il comprend trois réacteurs à l'intérieur des quels se réalisent les réactions chimiques; chaque réacteur est précédé d'un four dont la fonction est de porter la charge du réacteur à la température voulue. La charge (solvant) venant soit de l'unité 100 soit des bacs de stockage. Le reforming catalytique permet d'obtenir une amélioration du nombre d'octane (NO) à l'origine bas sur le solvant lourd et léger, l'unité de platforming nous permet d'améliorer ce nombre. Les réactions chimiques du platforming permettant cette amélioration sont l'adéshydrogénation des naphènes, l'isomérisation des naphènes et paraffines, l'adéshydrocyclisation des paraffines, le hydrocracking, la déméthylation et la désalkylation (voir Figure 09).

II.2.1.3 Unité Gas Plant (U300)

➤ Section de déethanisation et de séparation de propane, butane

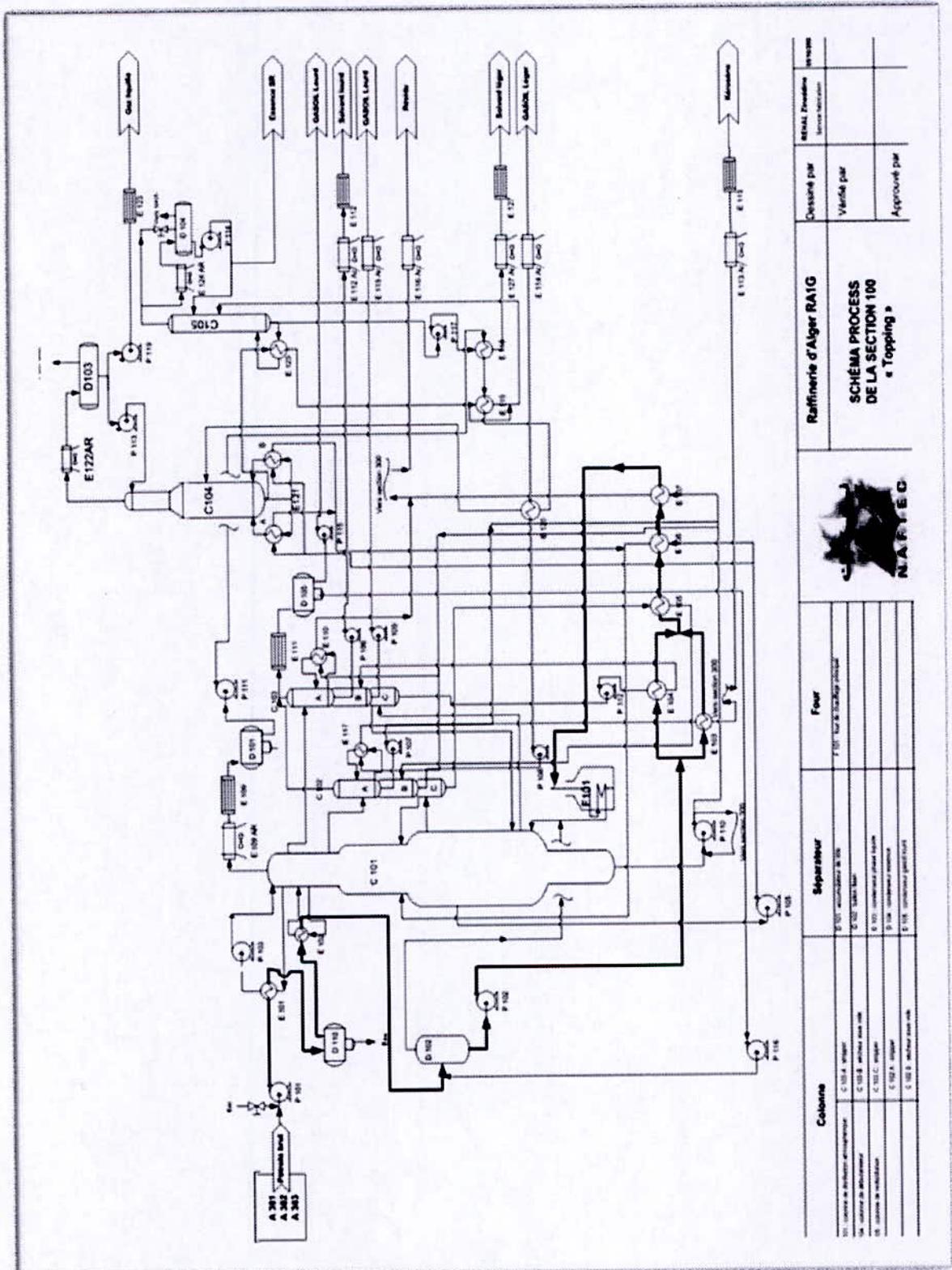
Cette unité permet d'obtenir le propane et le butane commerciaux. Son alimentation est un mélange de gaz liquéfiés provenant des ballons de recette des débutaniseurs de l'unité de Distillation Atmosphérique et de l'unité de Reforming Catalytique. Elle est constituée par des produits légers tel que l'hydrogène, le méthane, le propane et le butane et une très légère quantité de pentane. La séparation effectuée consiste à enlever à la charge des composés dits incondensables, c'est-à-dire H₂, CH₄ et principalement C₂H₆, pour ne laisser au fond de la tour qu'un mélange de propane et de butane dont la séparation ira s'effectuer dans une colonne de séparation propane, butane.

Le propane quitte la colonne à l'état vapeur, se condense totalement dans le condenseur puis recueilli dans le ballon de recette pour être envoyé ensuite dans la section des tamis moléculaires par la pompe. Le butane soutiré du rebouilleur sous contrôle de niveau, refroidi dans les aeroréfrigérants, est envoyé à la section des tamis moléculaires.

➤ Section des tamis moléculaires

Le rôle de cette section est de débarrasser le propane et le butane des produits sulfureux et de l'eau éventuellement entraînée pour les rendre utilisables dans le commerce. Les tamis moléculaires se présentent sous forme de lits adsorbants qui fixent sélectivement l'eau et les composés sulfurés.

Une fois que, le propane ou le butane, se trouve débarrassé des produits sulfurés et de l'eau, ils sont envoyés au stockage sous contrôle de pression (voir Figure 10).



Colonne		Four		Raffinerie d'Alger RAIG	
101	séparateur	F 101	101 & 102	Dessiné par	REVAL, Evénement
C 102	condenseur de tête			Vérifié par	Service technique
C 103	colonne à réfraction			Approuvé par	
C 104	colonne à réfraction				
C 105	colonne à réfraction				
C 106	colonne à réfraction				
C 107	colonne à réfraction				
C 108	colonne à réfraction				
C 109	colonne à réfraction				
C 110	colonne à réfraction				
C 111	colonne à réfraction				
C 112	colonne à réfraction				
C 113	colonne à réfraction				
C 114	colonne à réfraction				



Figure 8. Schéma process de l'unité 100 Topping (Distillation atmosphérique)

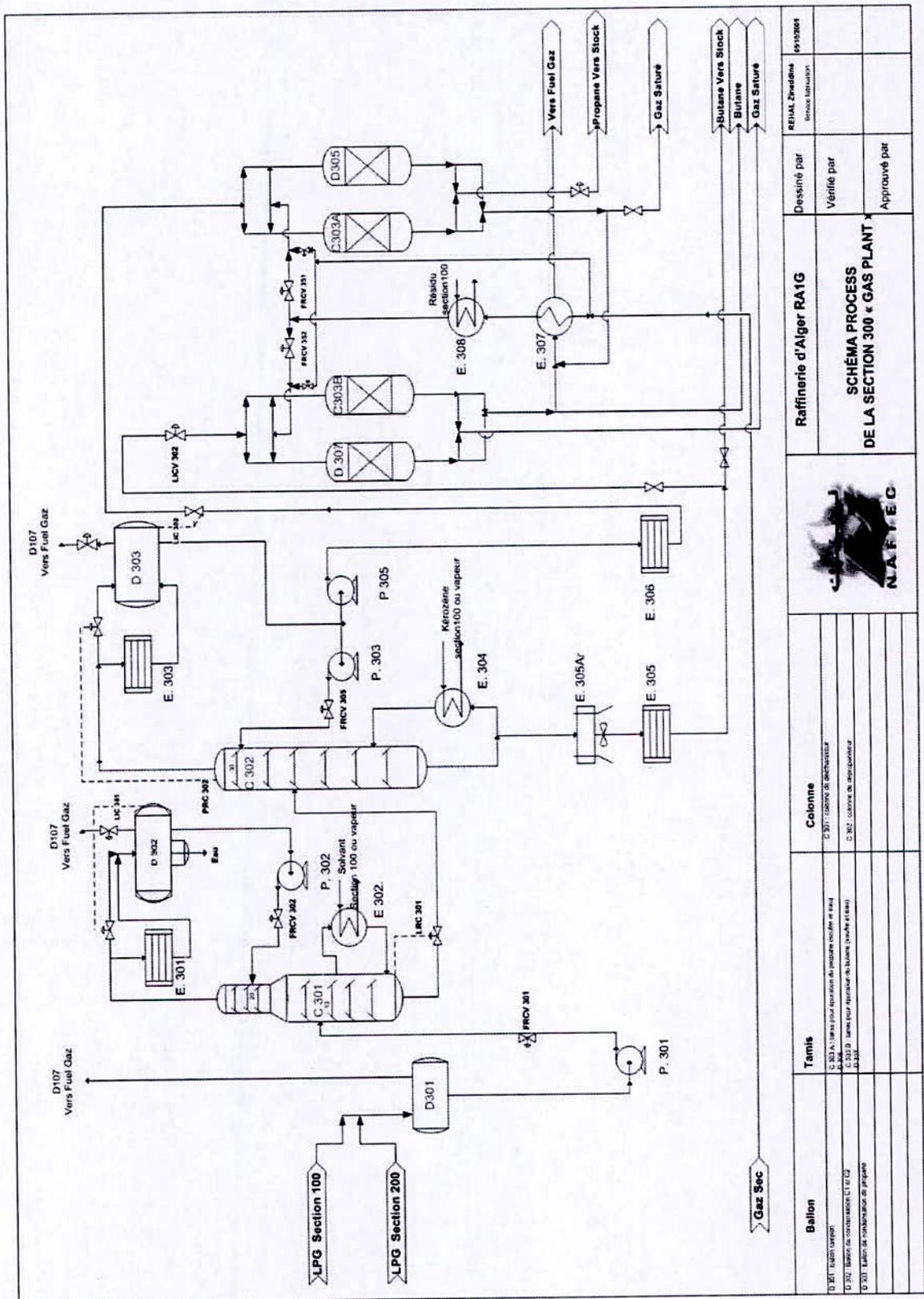


Figure 10. Schéma Process de l'unité 300 Gaz Plant

Ballon	D.301: Ballon tampon C.301 A: 100% pour separation de propane (colonne et 144) C.301 B: 100% pour separation de butane (colonne et 144) D.302: 100% pour separation de butane (colonne et 144) D.303: 100% pour separation de propane (colonne et 144)	Colonnes C.301: Colonne de distillation C.302: Colonne de distillation		Raffinerie d'Alger RAIG	Dessiné par	REHAL Zekrane
				Schéma Process de la Section 300 & Gas Plant	Vérifié par	REHAL Zekrane
Tamis				Approuvé par		REHAL Zekrane
						04/10/2004

II.3 ACTIONS ENGAGÉES PAR LA DIVISION RAFFINAGE POUR UNE MEILLEURE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE [7]

Pour une meilleure efficacité énergétique et en collaboration avec L'A.P.R.U.E des travaux d'audit énergétique ont été élaborés au sein de la raffinerie d'Alger, pour en sortir avec des recommandations visant essentiellement les soucis d'économie d'énergie.

Action interne de l'Activité Aval Raffinage du pétrole en termes d'économie d'énergie pour la raffinerie d'Alger

- Améliorer l'efficacité des tours de refroidissements, par la rénovation des internes des tours et installation des variateurs de vitesses pour les ventilateurs.
- Récupérer l'eau de réfrigération des pompes process.
- Minimiser les pertes au niveau des bacs à toit flottant par l'installation de joints secondaires.
- Automatiser le réglage d'ouverture des carnots des fours du Topping et Reforming.
- Études sur les possibilités de récupération des gaz torchés par l'extension des aéroréfrigérants de tête de colonne du Topping.
- Dans le cadre de la minimisation des fuites de vapeur, la raffinerie d'Alger a entamé le remplacement des purgeurs défectueux sur le réseau vapeur.
- L'optimisation de la tarification du gaz naturel mise à disposition par SONELGAZ.

Recommandations de l'A.P.R.U.E pour la raffinerie d'Alger

- Créer un service d'efficacité énergétique.
- Sensibiliser les différents acteurs à l'importance d'efficience énergétique.
- Réduction contractuelle de la demande de puissance mise à disposition (PMD).
- Réduire la puissance maximale appelée (PMA).
- Changer le tarif pour la haute et moyenne tension.
- Installer des batteries de condensateurs pour améliorer le facteur de puissance.
- Optimiser la charge des transformateurs MT et BT.

- Améliorer l'efficacité des tours de refroidissement.
- Installer un système de cogénération
- Installer un analyseur d'oxygène pour contrôler l'excès d'air dans les chaudières.
- Récupérer les gaz torchés.
- Réduire la température sortie fumés du four de Topping.
- Installer des analyseurs d'oxygène des fumées des fours (Topping et reforming).
- Récupérer les eaux résiduelles.

La raffinerie d'Alger a mené les travaux suivants :

II.3 .1 Amélioration de l'efficacité des tours de refroidissements

Dans le cas où la différence de température $\Delta T = T_{\text{entrée}} - T_{\text{Sortie}}$ est faible ($< 11^{\circ}\text{C}$)

Démarche de la raffinerie:

- Rénovation du garnissage des tours de refroidissement : gain de 3°C sur température de sortie tour ;
- Remplacement des deux réducteurs sur trois des moteurs des ventilateurs pour augmenter l'efficacité du refroidissement ;
- Arrêt des ventilateurs (au besoin) ;
- Une distribution équilibrée de l'eau par le réglage des vannes de sectionnement ;

L'économie réalisée par l'arrêt d'une pompe de circulation et d'un ventilateur équivaut à 2,1 millions de DA/an.

II.3 .2 Installation d'analyseur d'oxygène au four du Topping

L'excès d'air dans le four entraîne une consommation excessive de gaz combustible car la consommation de gaz dans le four = **$15 \text{ m}^3/\text{Tonne de brut traité}$** .

Actions de la raffinerie :

Installation d'un analyseur d'O₂ dans le four du Topping ainsi que l'automatisation du carnot, pour le suivi de l'excès d'air dans les fumées.

% O₂ idéal : 4 à 7% pour réduire la consommation en gaz combustible.

Les réglages effectués ont permis de réduire l'excès d'air de 3% et donc de réaliser une économie en consommation de gaz.

II.3.3 Récupération des eaux résiduelles

La raffinerie d'Alger a entamé une opération de récupération des eaux de réfrigération des pompes process des différentes unités, qui était initialement déversée dans l'oued Adda.

Dans le programme de réhabilitation de la raffinerie d'Alger qui prévoit, la récupération des eaux huileuses nécessitant un traitement biologique.

La quantité d'eau de réfrigération récupérée est estimée à : 350 000 m³/an, donc un gain de 350 000 m³/an x 80 DA/m³ = 28 millions de DA/an

II.3.4 Récupération des gaz torchés

La raffinerie d'Alger a maîtrisé le refroidissement de la tête de colonne par le rajout d'une cinquième cellule d'aéro-réfrigérants, et cela pour la récupération des gaz torchés en tête de colonne de distillation atmosphérique, donc la récupération de 0,8 T/h de gaz permet un gain de 11,31 Millions DA/année.

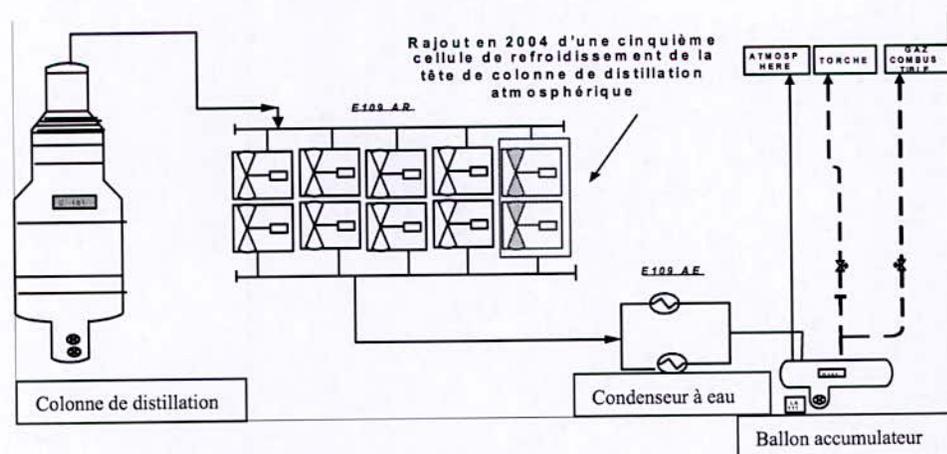


Figure 11. Récupération des gaz torchés

CHAPITRE III

LES TOURS DE REFROIDISSEMENT

Nomenclature Chapitre III

Nom	Description	Unité
Q	Débit d'eau	[m ³ /h]
\dot{m}	Débit massique de l'eau	[kJ/kg/K]
C_p	capacité thermique massique de l'eau	[kJ/kg/K]
T	Température Entrée/Sortie Tour	[°C]
P	Puissance thermique des tours	[kW]
U	Tension Moteurs	[Volt]
I_{abs}	Intensité absorbée Moteurs	[Ampère]
$\cos \varphi$	Facteur de puissance Moteurs	
ε	Coefficient de rapport de tension propre à la Raffinerie	

III.1. LES TOURS DE REFROIDISSEMENT

Le refroidissement évaporatif ou par voie humide est basé sur le contact direct entre l'air et l'eau du procédé à refroidir, les Européens les nomment «Réfrigération humide atmosphérique» [8], c'est une technologie très répandue, au Québec il y a environ 20 000 Tours de refroidissement, utilisées pour évacuer le grand débit de chaleur perdue par les procédés industriels.

L'air, avide d'humidité, évapore une partie de l'eau à refroidir en prélevant la chaleur latente de vaporisation, pour conduire finalement au refroidissement recherché. Cette chaleur latente de vaporisation constitue la majeure partie de l'échange thermique, complété par des échanges par convection entre l'eau et l'air. Cette technologie est particulièrement adaptée pour le refroidissement de procédés nécessitant des températures comprises entre 25 et 50°C.

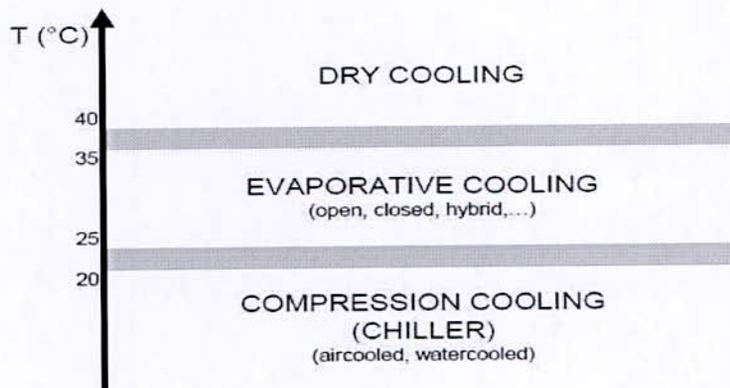


Figure 12. Types de refroidissement [13]

Une tour aéro-réfrigérante utilise le principe de refroidissement évaporatif, afin de refroidir un débit d'eau déterminé pour obtenir l'écart thermique souhaité, entre la température de l'eau chaude entrant dans la tour et la température de l'eau refroidie par la tour. L'efficacité de l'échange de la tour de refroidissement est conditionnée par l'approche, c'est-à-dire la différence entre la température d'eau froide et celle du bulbe humide de l'air (Figure13).

La température du bulbe humide de l'air pénétrant dans la tour de refroidissement conditionne la quantité d'eau évaporée et donc la quantité de chaleur transférée de l'eau à l'air. Généralement, cette quantité d'eau évaporée est de 1 % pour un écart thermique de 6 K. Cette température de bulbe humide est dans les conditions de base (en été), bien plus basse

que la température de bulbe sec de l'air (environ 20°C de température au bulbe humide en été, pour une température sèche de 32°C). En outre, le transfert de chaleur latente de vaporisation permet de transférer plus de chaleur par m³ d'air traversant le corps d'échange, comparativement au transfert de chaleur sensible.

Pour ces raisons, les tours de refroidissement permettent d'atteindre des températures de sortie d'eau basses, jusqu'à 25°C, par une température extérieure de 32°C et 40% d'humidité relative, avec un débit d'air relativement faible. [9]

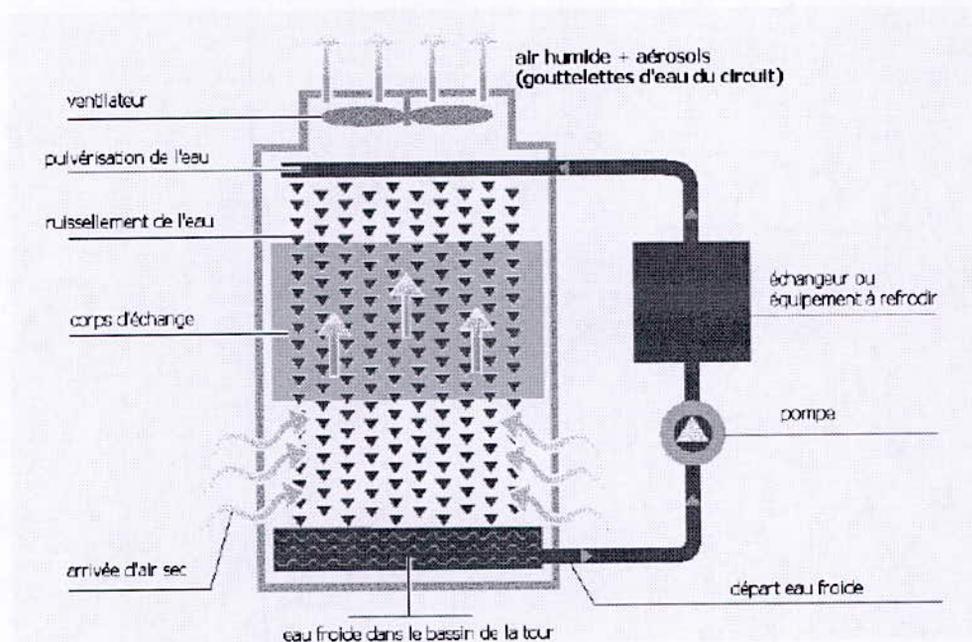


Figure 13. Principe d'un circuit évaporatif [14]

III.2. Puissance thermique d'une tour de refroidissement [9]

La puissance thermique d'une tour de refroidissement (en kw) est donnée par la formule suivante :

$$P = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Où $\dot{m} = Q / 3,6$ est le débit massique en kg/s et avec :

Q : débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement (en m³/h)

C_p : capacité thermique massique de l'eau (en kJ/kg/K)

ΔT : écart de température entre l'eau chaude et l'eau refroidie (en K)

C_p : 4,186 kJ/kg/K

La puissance thermique maximale d'une tour de refroidissement est basée sur un régime été pour lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir. Ce régime été correspond à une température de bulbe humide de l'air à l'entrée de la tour de l'ordre de 21°C pour une température sèche de 32°C et une humidité relative de 35% (variable en fonction des conditions climatiques locales de l'installation). Les conditions sur l'eau à refroidir sont généralement 32/27°C. Lorsque la température de bulbe humide de l'air diminue (fonctionnement en demi-saison et en hiver), la ventilation de la tour de refroidissement est régulée de façon à maintenir la température de sortie d'eau désirée.

Il existe plusieurs configurations possibles de tours aéro-réfrigérantes qui se différencient par:

- le mode d'échange thermique utilisé (humide, sec, hybride ou combiné sec/humide),
- le mode de mise en circulation de l'air (tirage naturel ou forcé), (Figures 14 et 15).
- les trajectoires relatives entre l'air et l'eau (échange à contre courant ou courant croisé).

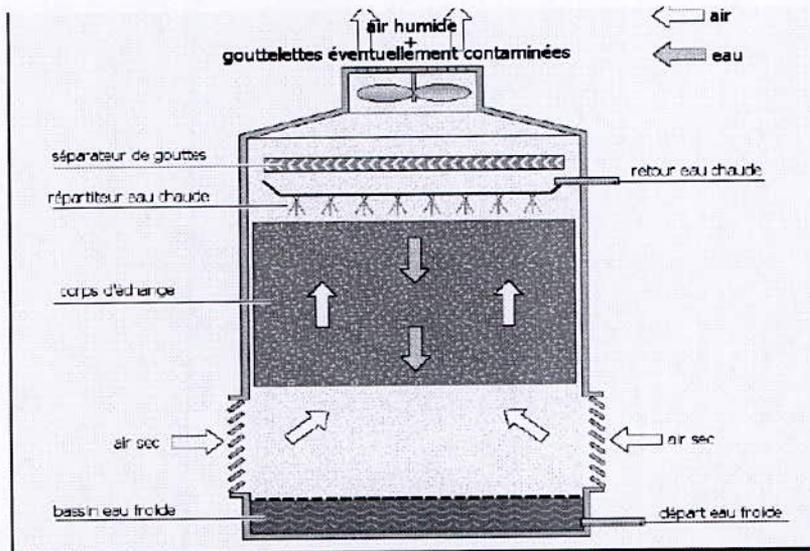


Figure 14. Tour à tirage induit et à contre courant [10]

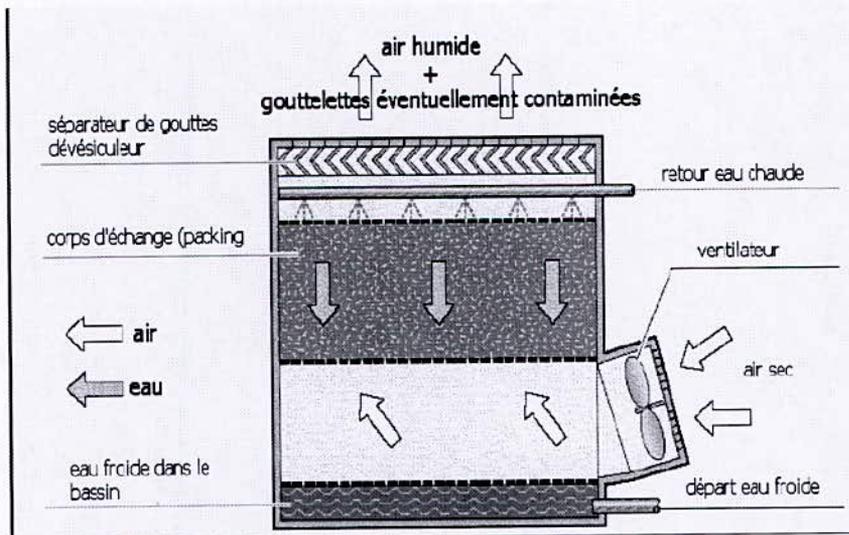


Figure 15. Tour à tirage forcé et à contre courant [10]

III.3 Étude des tours de refroidissement de la Raffinerie d'Alger

III.3.1 Principe [6]

La conception des tours de refroidissement repose sur le principe d'un échange thermique air/eau sous deux formes:

- Par contact direct, l'eau cédant de la chaleur à l'air frais (chaleur sensible)
- Par vaporisation d'une partie de l'eau (chaleur latente de vaporisation)

L'eau chaude est introduite dans des distributeurs en tête de tour. Elle s'écoule ensuite à travers un garnissage où elle est contactée à contre courant avec de l'air ambiant. L'eau refroidie est collectée en fond de tour avant d'être envoyée vers les différents consommateurs par les pompes de circulation.

La limite basse théorique de refroidissement de l'eau correspond à la température de bulbe humide. Cette température correspond à la température d'équilibre d'un thermomètre dont le bulbe est enveloppé dans une mèche trempant dans de l'eau à température ambiante. Une partie de l'eau de la mèche s'évapore (due à la différence de tension de vapeur d'eau dans l'air et dans la mèche) ce qui refroidit la mèche (chaleur latente de vaporisation). Quand l'air est saturé, il n'y a pas d'évaporation et les températures de bulbe sec et de bulbe humide sont égales. En fait, plus l'air est sec, plus la différence entre ces deux températures est importante. **La limite économique pour une tour de refroidissement se situe entre 3 et 6°C au-dessus de cette température de bulbe humide.**

L'eau de refroidissement qui sort des tours E1, E2 et E3 alimente via les pompes de circulation le collecteur principal de 24" qui comprend 2 départs : un 20" vers les unités combinées et un 24" vers la centrale électrique.

La ligne de 20" se partage ensuite en plusieurs sous-collecteurs pour alimenter les unités de distillation atmosphérique (U100), platforming (U200) et traitement des gaz (U300). Chaque sous-collecteur alimente ensuite les échangeurs à eau de refroidissement ou/et les pompes équipées d'un système de refroidissement à eau.

Les échangeurs alimentés en eau de refroidissement sont les suivant:

Unité distillation atmosphérique (U100)

- E-109 A/B Condenseur de la distillation atmosphérique
- E-111 Condenseur sécheur GO
- E-112 Coulée solvant lourd
- E-113 Coulée kérosène

- E-123 Coulée GPL vers U300
- E-126 Coulée essence débutanisée
- E-127 Coulée solvant léger

Unité platforming (U200)

- E-209 A/B Effluent platforming
- E-212 Réformat débutanisé
- E-215 Condenseur débutaniseur
- E-217 Condenseur turbine K201

Unité traitement des gaz (U300)

- E-301 A/B Condenseur dééthaniseur
- E-303 Condenseur splitter C3/C4
- E-305 Coulée butane
- E-306 Coulée propane (cet équipement est aujourd'hui déconnecté du réseau)

Le retour de l'eau des échangeurs se fait différemment selon la nature des produits pétroliers circulant dans les échangeurs. Pour les produits blancs (E-109 A/B, E-111, E-301 A/B, E-303, E-305, E-306), l'eau de refroidissement repart directement vers les tours de refroidissement, toute contamination par des hydrocarbures légers sera flashée au niveau des tours et évacuée à l'atmosphère. Pour les autres produits, l'eau repart vers le bac de décantation D1. L'eau y est débarrassée de toute contamination hydrocarbure par écrémage de la surface avant d'être renvoyée aux tours de réfrigération par les pompes G-1 / G-1S. Un mélangeur en ligne en amont des tours homogénéise les eaux revenant directement des unités et celle revenant du D1.

De plus, par rapport au design original, une nouvelle ligne aérienne a été ajoutée pour pouvoir envoyer le retour de l'unité 300 soit vers le décanteur D1 en cas de contamination, soit vers les tours en marche normale. Aujourd'hui les 2 vannes sont ouvertes en permanence pour soulager le circuit et améliorer ainsi la circulation.

La ligne vers la centrale alimente les échangeurs suivants:

- E-11 Huile alternateur
- E-12 Refroidissement alternateur
- E-14/15 Huile compresseur d'air
- E-17 Condenseur turboalternateur

L'eau de refroidissement retourne ensuite aux tours de refroidissement par une ligne qui se pique sur le collecteur de retour entre les tours E2 et E3.

Sur les plans d'origine, l'eau de refroidissement des pompes n'était pas récupérée. Aujourd'hui, l'eau des pompes de la centrale, de l'unité 100 (à l'exception des P-101 A/B/C et P-110 A/B/C) et 200 (à l'exception de la P-202 B) est récupérée et s'écoule par gravité dans une fosse au Sud des tours (l'eau de l'unité 300 n'est pas récupérée et s'écoule vers le réseau eau huileuse). Elle est ensuite reprise par une pompe immergée et envoyée dans le décanteur D1. L'eau d'appoint provient du forage de la raffinerie et est pompée par les pompes G-403 vers le bassin de la tour de refroidissement E1 sur contrôle de niveau. Cette eau permet de compenser les différentes pertes du circuit : purge volontaire, évaporation et fuites éventuelles. Le schéma de principe en Annexe 1 présente une vue d'ensemble du système d'eau de refroidissement.

Chaque tour de refroidissement de la raffinerie d'Alger a été dimensionnée pour les conditions de marche suivantes:

Tableau 4. Conditions de marche des tours [6]

Débit d'eau	m ³ /h	1 650
T eau chaude	°C	39
T eau refroidie	°C	27.8
T bulbe humide	°C	24

III.3.2 Traitement de l'eau de refroidissement [11]

Au démarrage de la raffinerie, l'eau d'appoint était décarbonatée à froid par la chaux, puis filtrée avant d'être envoyée dans le bassin des tours de refroidissement. Ce traitement a été abandonné en 1984 pour des problèmes d'approvisionnement et de qualité de réactifs.

L'eau de retour de la centrale et de l'unité arrive à chaque extrémité d'un collecteur de liaison qui monte aux tours de refroidissement.

L'eau revenant de des unités reçoit :

- une injection permanente de Nalco et d'acide sulfurique ;
- Une injection temporaire d'hypochlorite.

L'eau des circuits de réfrigération doit être traitée pour répondre aux critères suivants:

Ne pas être incrustante, ne pas être corrosive vis-à-vis des tubes de réfrigérants en acier au carbone et ne pas contenir de micro-organismes susceptibles de proliférer aux endroits exposés à la lumière.

III.3.1 Examen des conditions opératoires

Été 2009 :

Puisque la puissance thermique maximale d'une tour de refroidissement est basée sur un régime été pour lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir, pour cela nous avons choisi et exploiter les feuilles de marche du mois de juillet 2009 où la température a atteint son maximum de 42 °c.

Tableau 5. Paramètres opératoires thermiques des trois tours de refroidissement Juillet 2009

	T ext (sec) (°C)	T Humide (°C)	T (E1) In (°C)	T (E2) In (°C)	T (E3) In (°C)	T vers UC (°C)	Débit		Δ T E1 (°C)	Δ T E2 (°C)	Δ T E3 (°C)	App Humide	Débit Total m3/h	Puissance thermique échangées MW E1	Puissance thermique échangées MW E2	Puissance thermique échangées MW E3
							Centre	UC								
1.07.2009	32	29	32	33	31	25	9,4	8,2	7	8	6	-4	5688,2	15,43	17,64	13,23
	30	27	31	32	30	24	9,4	8,3	7	8	6	-3	5721	15,52	17,74	13,30
	23	22	30	31	28	23	25	9,4	8,2	7	8	5	1	5688,2	15,43	17,64
02.07.2009	35	31	31	32	30	25	9,4	8,2	6	7	5	-6	5688,2	13,23	15,43	11,02
	30	28	31	33	30	24	9,4	8,2	7	9	6	-4	5688,2	15,43	19,84	13,23
	24	23	31	32	30	25	9,3	8,2	6	7	5	2	5656,3	13,15	15,35	10,96
3.07.2009	35	32	32	33	31	26	9,4	8,2	6	7	5	-6	5688,2	13,23	15,43	11,02
	30	28	32	33	31	26	9,3	8,2	6	7	5	-2	5656,3	13,15	15,35	10,96
	25	23	30	31	29	23	9,3	8,2	7	8	6	0	5656,3	15,35	17,54	13,15
04.07.2009	37	31	30	33	29	25	9,3	8,2	5	8	4	-6	5656,3	10,96	17,54	8,77
	33	26	30	32	29	25	9,3	8,2	5	7	4	-1	5656,3	10,96	15,35	8,77
	25	22	28	29	27	22	9,3	8,2	6	7	5	0	5656,3	13,15	15,35	10,96
05.07.2009	38	32	30	32	29	24	9,4	8,2	6	8	5	-8	5688,2	13,23	17,64	11,02
	34	30	30	32	29	24	9,4	8,2	6	8	5	-6	5688,2	13,23	17,64	11,02
	24	22	28	29	27	22	9,3	8,2	6	7	5	0	5656,3	13,15	15,35	10,96
06.07.2009	34	29	30	31	28	23	9,3	8,2	7	8	5	-6	5656,3	15,35	17,54	10,96
	32	29	31	32	30	24	9,3	8,2	7	8	6	-5	5656,3	15,35	17,54	13,15
	24	22	29	30	28	22	9,3	8,2	7	8	6	0	5656,3	15,35	17,54	13,15
07.07.2009	34	32	30	32	28	24	9,4	8,2	6	8	4	-8	5688,2	13,23	17,64	8,82
	30	27	30	32	29	24	9,3	8,2	6	8	5	-3	5656,3	13,15	17,54	10,96
	24	22	30	31	28	23	9,3	8,2	7	8	5	1	5656,3	15,35	17,54	10,96
08.07.2009	33	29	32	33	31	26	9,3	8,2	6	7	5	-3	5656,3	13,15	15,35	10,96
	30	28	34	36	32	26	9,3	8,2	8	10	6	-2	5656,3	17,54	21,92	13,15
	26	24	31	32	30	25	9,3	8,2	6	7	5	1	5656,3	13,15	15,35	10,96

T ext (sec) (°C)	T Humide (°C)	T (E1) In (°C)	T (E2) In (°C)	T (E3) In (°C)	T vers UC (°C)	Débit		ΔT E1 (°C)	ΔT E2 (°C)	ΔT E3 (°C)	App Humide	Débit Total m3/h	Puissance thermique échangées MW E1	Puissance thermique échangées MW E2	Puissance thermique échangées MW E3
						Centre	UC								
09.07.2009	31	28	32	31	25	9,3	8,2	7	8	6	-3	5656,3	15,35	17,54	13,15
	28	25	31	30	25	9,3	8,2	6	7	5	0	5656,3	13,15	15,35	10,96
	24	23	30	31	28	24	9,3	8,1	6	7	1	5623,5	13,08	15,26	8,72
10.07.2009	32	29	30	32	25	9,3	8,2	6	7	4	-4	5656,3	10,96	15,35	8,77
	28	25	30	32	24	9,3	8,2	5	6	4	-1	5656,3	13,15	17,54	8,77
	23	21	29	30	23	23	9,3	8,1	6	7	2	5623,5	13,08	15,26	10,90
11.07.2009	34	28	31	33	25	9,3	8,2	6	8	5	-3	5656,3	13,15	17,54	10,96
	29	26	31	32	25	9,3	8,2	6	7	5	-1	5656,3	13,15	15,35	10,96
	24	22	30	32	23	23	9,3	8,2	7	9	1	5656,3	15,35	19,73	10,96
12.07.2009	34	31	32	34	26	9,3	8,1	6	8	5	-5	5623,5	13,08	17,44	10,90
	29	28	32	34	26	9,3	8,2	6	8	5	-2	5656,3	13,15	17,54	10,96
	24	22	30	32	23	23	9,3	8,2	7	9	1	5656,3	15,35	19,73	10,96
13.07.2009	40	33	33	35	27	9,3	8,2	6	8	5	-6	5656,3	13,15	17,54	10,96
	29	27	32	34	27	9,3	8,2	5	7	4	0	5656,3	10,96	15,35	8,77
	26	23	32	34	25	25	9,3	8,2	7	9	2	5656,3	15,35	19,73	10,96
14.07.2009	34	31	33	34	27	9,3	8,2	6	7	5	-4	5656,3	13,15	15,35	10,96
	29	26	32	33	25	9,3	8,2	7	8	6	-1	5656,3	15,35	17,54	13,15
	24	23	31	32	24	24	9,3	8,2	7	8	1	5656,3	15,35	17,54	10,96
15.07.2009	35	30	29	31	22	9,3	8	7	9	6	-8	5590,7	15,17	19,50	13,00
	30	28	31	32	24	9,3	8	7	8	6	-4	5590,7	15,17	17,34	13,00
	26	24	32	33	26	26	9,3	7,9	6	7	2	5557,9	12,93	15,08	10,77
16.07.2009	33	30	32	34	26	9,3	8	6	8	5	-4	5590,7	13,00	17,34	10,83
	32	30	32	34	26	26	9,3	8	6	5	-4	5590,7	13,00	17,34	10,83
	25	24	32	33	26	26	9,3	8,2	6	7	2	5656,3	13,15	15,35	10,96

	T ext (sec) (°C)	T Humide (°C)	T (E1) In (°C)	T (E2) In (°C)	T (E3) In (°C)	T vers UC (°C)	Débit		$\Delta T E1$ (°C)	$\Delta T E2$ (°C)	$\Delta T E3$ (°C)	App Humide	Débit Total m3/h	Puissance thermique échangées MW E1	Puissance thermique échangées MW E2	Puissance thermique échangées MW E3
							Centre	UC								
17.07.2009	33	30	31	34	30	23	9,4	8,2	8	11	7	-7	5688,2	17,64	24,25	15,43
	35	28	29	31	27	23	9,3	8,2	6	8	4	-5	5656,3	13,15	17,54	8,77
	24	21	29	30	27	23	9,3	8,2	6	7	4	2	5656,3	13,15	15,35	8,77
18.07.2009	32	26	30	32	29	24	9,4	8,2	6	8	5	-2	5688,2	13,23	17,64	11,02
	28	26	29	31	28	24	9,3	8,2	5	7	4	-2	5656,3	10,96	15,35	8,77
	21	20	27	28	26	22	9,3	8,2	5	6	4	2	5656,3	10,96	13,15	8,77
19.07.2009	30	25	30	32	28	24	9,2	8,2	6	8	4	-1	5624,4	13,08	17,44	8,72
	28	26	30	31	30	24	9,1	8,2	6	7	6	-2	5592,5	13,01	15,17	13,01
	23	22	30	31	29	24	9,3	8,2	6	7	5	2	5656,3	13,15	15,35	10,96
20.07.2009	32	30	31	33	30	25	9,3	8,2	6	8	5	-5	5656,3	13,15	17,54	10,96
	29	27	30	32	29	24	9,3	8,2	6	8	5	-3	5656,3	13,15	17,54	10,96
	24	23	31	32	30	24	9,3	8,3	7	8	6	1	5689,1	15,44	17,64	13,23
21.07.2009	33	30	33	34	32	26	9,3	8,2	7	8	6	-4	5656,3	15,35	17,54	13,15
	32	29	33	34	32	25	9,3	8,2	8	9	7	-4	5656,3	17,54	19,73	15,35
	28	25	30	31	29	24	9,3	8,2	6	7	5	-1	5656,3	13,15	15,35	10,96
22.07.2009	42	37	32	34	32	26	9,3	8,2	6	8	6	-11	5656,3	13,15	17,54	13,15
	33	30	31	33	30	25	9,3	8,2	6	8	5	-5	5656,3	13,15	17,54	10,96
	30	27	29	31	28	24	9,3	8,2	5	7	4	-3	5656,3	10,96	15,35	8,77
23.07.2009	41	34	30	33	29	24	9,3	8,2	6	9	5	-10	5656,3	13,15	19,73	10,96
	34	29	30	32	29	24	9,3	8,3	6	8	5	-5	5689,1	13,23	17,64	11,03
	26	22	28	29	26	21	9,3	8,3	7	8	5	-1	5689,1	15,44	17,64	11,03
24.07.2009	39	29	29	32	29	24	9,3	8,2	5	8	5	-5	5656,3	10,96	17,54	10,96
	36	29	30	32	30	24	9,3	8,3	6	8	6	-5	5689,1	13,23	17,64	13,23
	28	26	28	29	26	20	9,3	8,2	8	9	6	-6	5656,3	17,54	19,73	13,15

	Text (sec) (°C)	T Humide (°C)	T (E1) In (°C)	T (E2) In (°C)	T (E3) In (°C)	T vers UC (°C)	Débit		ΔT_{E1} (°C)	ΔT_{E2} (°C)	ΔT_{E3} (°C)	App Humide	Débit Total m ³ /h	Puissance thermique échangées MW E1	Puissance thermique échangées MW E2	Puissance thermique échangées MW E3
							Centre	UC								
25.07.2009	34	29	32	33	31	26	9,3	8,2	6	7	5	-3	5656,3	13,15	15,35	10,96
	30	26	32	34	31	26	9,3	8,3	6	8	5	0	5689,1	13,23	17,64	11,03
	25	23	32	33	30	24	9,3	8,2	8	9	6	1	5656,3	17,54	19,73	13,15
26.07.2009	36	29	33	34	32	26	9,2	8,3	7	8	6	-3	5657,2	15,35	17,54	13,16
	30	26	32	33	31	26	9,2	8,3	6	7	5	0	5657,2	13,16	15,35	10,96
	27	25	31	32	30	25	9,2	8,3	6	7	5	0	5657,2	13,16	15,35	10,96
27.07.2009	40	36	33	34	32	26	9	8,3	7	8	6	-10	5593,4	15,18	17,34	13,01
	31	30	33	34	32	25	9,2	8,3	8	9	7	-5	5657,2	17,54	19,73	15,35
	27	25	32	33	31	26	9,2	8,3	6	7	5	1	5657,2	13,16	15,35	10,96
28.07.2009	34	31	33	35	32	26	9,2	8,3	7	9	6	-5	5657,2	15,35	19,73	13,16
	29	28	32	34	31	26	9,2	8,3	6	8	5	-2	5657,2	13,16	17,54	10,96
	26	24	32	33	31	26	9,2	8,3	6	7	5	2	5657,2	13,16	15,35	10,96
29.07.2009	35	30	34	36	33	25	9,3	8,4	9	11	8	-5	5721,9	19,96	24,40	17,74
	31	28	33	34	32	26	9,2	8,3	7	8	6	-2	5657,2	15,35	17,54	13,16
	25	24	32	33	31	26	9,2	8,3	6	7	5	2	5657,2	13,16	15,35	10,96
30.07.2009	33	29	33	35	32	25	9,3	8,2	8	10	7	-4	5656,3	17,54	21,92	15,35
	31	28	33	34	32	26	9,2	8,1	7	8	6	-2	5591,6	15,17	17,34	13,00
	26	24	32	33	31	26	9,2	8,1	6	7	5	2	5591,6	13,00	15,17	10,84
31.07.2009	32	27	33	35	32	26	9,3	8,2	7	9	6	-1	5656,3	15,35	19,73	13,15
	31	29	32	33	31	25	9,2	8,1	7	8	6	-4	5591,6	15,17	17,34	13,00
	25	23	32	33	31	26	9,2	8,1	6	7	5	3	5591,6	13,00	15,17	10,84

Avec	T ext	température extérieure mesurée sur site
	T humide	température de bulbe humide mesurée sur site
	T E1/E2in	température de l'eau de refroidissement à l'entrée de la tour E1/E2
	T vers UC	température de l'eau de refroidissement vers les unités combinées
	Débit	indication des débitmètres vers la centrale / les unités combinées
	ΔT E1/E2	différence de température entrée/sortie de l'eau dans les tours E1/E2
	App hum	approche entre la température en sortie des tours et la température de bulbe humide
	Débit total	débit total de circulation d'eau de refroidissement

Commentaire

Le tableau ci-dessus résume les paramètres opératoires des trois tours de refroidissement durant le mois de juillet 2009.

L'analyse du tableau montre que la température de l'eau en sortie des trois tours de refroidissement ne dépasse pas la température garantie de 27.8°C (jusqu'à 34°C) jugeant ainsi à un bon fonctionnement des trois tours. Cependant on remarque que , l'approche calculée entre la température de bulbe humide et la température de l'eau refroidie se situe entre 3°C et -11°C, ce qui est contradictoire puisque la différence doit être positive, car la température de l'eau vers les unités combinées doit être supérieure à la température du bulbe humide, la limite économique pour une tour de refroidissement se situe entre 3°C et 6°C au-dessus de cette température de bulbe humide, donc nous pouvons conclure que la température de ce dernier est mal reprise dans les feuilles de marche, cela est dû aux mauvaises conditions où se trouve le thermomètre mesurant la température du bulbe humide ainsi que la qualité du thermomètre. Il pourrait ainsi s'avérer que la température de bulbe humide de 24°C prise lors du design était trop optimiste et donc que la température d'eau froide de 27.8°C n'est en fait pas réaliste, compte tenu des conditions à la raffinerie d'Alger.

Sur le même tableau nous remarquons que la puissance thermique échangée que nous avons calculé de la tour E2, est la plus élevée $P= 24.40$ MW ce qui correspond à un ΔT E2 de 11°C, cette valeur s'approche le plus de la valeur design 11°C, donc plus ΔT est grand, plus la tour est performante d'un point de vue d'échange thermique, comparée aux tours E1 et E3 qui possèdent respectivement les puissances 19.96 MW et 17.74 MW , pour le plus grand débit global calculé 5721 m³/h, enregistré pendant le mois de Juillet 2009, sachant que le débit d'eau est supérieur au cas design (de l'ordre de 5721 m³/h contre 4950 m³/h au design).

➤ **Recommandations 01**

La température de bulbe humide est un paramètre primordial du fonctionnement d'une tour de refroidissement. Seule cette température permet de déterminer la température minimale de l'eau en sortie de tour et d'apprécier les performances réelles des tours de refroidissement, donc il est recommandé de changer le thermomètre du bulbe humide par un thermomètre plus adéquat, cette mesure doit se faire à proximité des tours et en plusieurs endroits pour obtenir la valeur la plus représentative possible.

➤ **Calcul du taux d'évaporation [12]**

Ce refroidissement qui s'effectue au moyen de l'air atmosphérique, à courant croisé, avec l'eau à refroidir, finement divisée, l'air au contact de l'eau s'échauffe et passe de l'humidité ambiante à une humidité proche de la saturation en évaporant une partie de l'eau à refroidir, cette double action se traduit par l'égalité

$$E(T1 - T2) + eT2 = A(H2 - H1)$$

E : débit d'eau sur la tour en kg/h ;

T1 et T2 : les températures respectives de l'eau à l'entrée et à la sortie ;

e : la quantité d'eau évaporée (à compenser par appoint) en kg/h ;

H1 et H2 les enthalpies de l'air humide rapportées au Kg d'air sec à l'entrée et à la sortie.

La chaleur spécifique de l'eau est prise égale à 1

Si l'on désigne par x1 et x2 l'humidité de l'air à l'entrée et à la sortie, exprimé en kg d'eau par kg d'air sec, on a :

$$e = A(x2 - x1)$$

D'où par substitution dans l'égalité précédente :

$$E(T1 - T2) + A(x2 - x1)T2 = A(H2 - H1)$$

En y examinant les feuilles de marche pour le mois de juillet 2009, le jour du 13 juillet 2009, présentait une température extérieure égale à 40°C, avec un taux d'humidité de 70%, cette journée été une journée caniculaire.

Ce cas est le cas le plus intéressant pour notre calcul, car il est le plus défavorable en matière de conditions climatiques (température, taux d'humidité...)

X1 étant l'humidité de l'air à l'entrée, pour notre cas, elle est de 70%

$$x_1 = 70 \%$$

X2 étant l'humidité de l'air à la sortie, prise égale à 100%, vapeur saturée

$$x_2 = 100 \%$$

Le calcul du taux d'évaporation est très important pour l'estimation des performances des tours de refroidissement, aussi bien pour déterminer la quantité d'eau d'appoint, et se situer dans la fourchette des normes, généralement cette quantité d'eau évaporée est de 1 % pour un écart thermique de 6 K.

➤ **Recommandation 02 :**

Installation d'un instrument de mesure de température de l'air à la sortie des ventilateurs pour déterminer le taux d'évaporation.

III.3.3 Dissymétrie du réseau de distribution

L'examen des températures d'entrée de l'eau dans les trois tours de refroidissement ont montré une dissymétrie du réseau au niveau de la charge thermique des tours. La température d'entrée de la tour E2 est toujours supérieure, de l'ordre de 4°C par rapport à la tour E3 et 3°C par rapport à la tour E1, et la température d'entrée de la tour E3 est la plus petite des trois tours, on explique ça par la géométrie du réseau d'alimentation des trois tours et les différentes charges thermiques de la centrale et des unités combinées (Voir Figure 16)

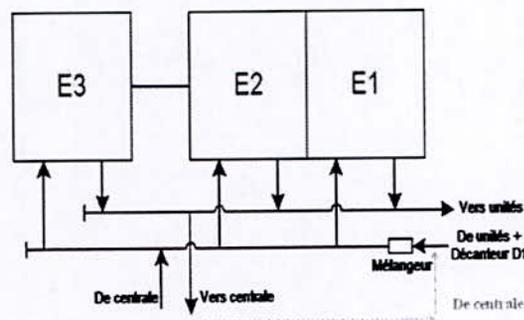


Figure 16. Schéma de la distribution de l'eau de refroidissement dans les trois tours

Les tours E3 et E2 sont prioritairement alimentées par l'eau venant de la centrale alors que la tour E1 est prioritairement alimentée par l'eau venant des unités combinées. Or la

chaleur échangée dans la centrale est inférieure à celle des unités combinées, ce qui donne une température de retour de la centrale inférieure à celle du retour des unités.

➤ **Recommandation 03**

Pour une meilleure répartition de la charge thermique, on doit déplacer le piquage retour de l'eau de la centrale en amont du mélangeur comme c'est indiqué dans la figure 05 et unifier les températures sur les trois branches des trois tours de refroidissement, en y ajoutant aussi des vannes réglage de débit.

III.3.4 Distribution air/eau à travers le garnissage [7]

Le garnissage est un élément important d'une tour de refroidissement car il permet d'augmenter la surface de contact air/eau et donc d'augmenter le transfert de chaleur.

La mauvaise distribution de l'eau de refroidissement a deux inconvénients majeurs, qui tendent à diminuer l'efficacité des tours de refroidissement :

- Une diminution de la surface de contact air/eau et la création de chemin préférentiel pour l'air ;
- Encrassement du garnissage, dû à la déposition de sels quand l'eau s'évapore, ainsi que l'encrassement des distributeurs d'eau en tête de tours. La présence de boue dans les collecteurs du distributeur bouche les orifices de distribution. Cette boue peut s'expliquer par le fait que les tours de refroidissement sont d'excellents laveurs d'air : toutes les poussières ou particules présentes dans l'air se retrouvent absorbées dans l'eau de refroidissement. Ces éléments sont ensuite de très bons précurseurs pour d'éventuels développements bactériens ou biologiques, qui peuvent diminuer l'efficacité du traitement des eaux de refroidissement. Cette boue s'accumule au cours du temps et conduit à l'encrassement des distributeurs des tours mais également à l'encrassement des échangeurs du circuit (diminution du coefficient d'échange thermique, augmentation de la perte de charge, problèmes de corrosion sous dépôt, ...).

Afin de limiter ce problème de boue, une surveillance accrue du système doit être mise en place:

- Inspection régulière des distributeurs en tête de tour pour détecter et éliminer d'éventuels bouchages ;
- Inspection régulière du bassin des tours en plusieurs endroits pour détecter d'éventuelles accumulations de dépôts ou d'algues ;

- Mise en place d'une procédure de nettoyage complète des tours comprenant les bassins mais aussi les distributeurs, les pares gouttelettes, ...
- Mise en place d'une filtration dérivée permettant de traiter le débit de circulation d'eau de refroidissement, afin de contrôler la teneur en matière en suspension (MES).

III.3.5 Groupes moto-ventilateurs

Les groupes moto-ventilateurs permettent de créer un courant d'air ascendant dans les tours de refroidissement. Le tableau suivant reprend les mesures d'intensité des moteurs en juillet 2000 (issues des feuilles de marche) :

G36 : Moteur de la tour de refroidissement E2, G34 : Moteur de la tour de refroidissement E1.

Tableau 6. Intensité des moteurs G34 et G36 issues des feuilles de marche 2000

	G36	G34
	Tour E2	Tour E1
	Intensité	Intensité
	(Ampère)	(Ampère)
01/07/2000	172	152
	172	152
	172	150
07/07/2000	172	150
	172	148
	172	150
15/07/2000	174	150
	174	149
	175	150
23/07/2000	168	148
	168	150
	172	148
29/07/2000	172	145
	172	145
	172	145

En se basant sur les feuilles de marches de Juillet 2009, on a calculé les puissances absorbées pour chaque moteur des tours de refroidissement à l'aide des paramètres opératoires (Intensité) des feuilles de marche, ainsi que les puissance avec les intensités mesurées par ampèremètre sur site.

Tableau 8. Puissances calculées issues des feuilles de marche

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère		Ampère		Ampère		KWatt		KWatt		KWatt	
1.07.2009	160		95		230		93,72		55,65		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		230		93,72		55,65		134,73	
	160		98		228		93,72		57,41		133,56	
02.07.2009	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	98		160		230		57,41		93,72		134,73	
3.07.2009	95		160		225		55,65		93,72		131,80	
	98		160		228		57,41		93,72		133,56	
	98		160		230		57,41		93,72		134,73	
04.07.2009	95		160		225		55,65		93,72		131,80	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		230		93,72		55,65		134,73	
05.07.2009	160		97		230		93,72		56,82		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
	160		97		230		93,72		56,82		134,73	
06.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		230		93,72		55,65		134,73	
	160		97		230		93,72		56,82		134,73	
07.07.2009	160		97		230		93,72		56,82		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
08.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	

Tableau 7. Puissances calculées avec intensités mesurées par ampèremètre

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère		Ampère		Ampère		KWatt		KWatt		KWatt	
1.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
02.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
3.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
04.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
05.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
06.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
07.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
08.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère		Ampère		Ampère		KWatt		KWatt		KWatt	
09.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
10.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
11.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
12.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
13.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		220		93,72		55,65		128,87	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
14.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
	160		95		225		93,72		55,65		131,80	
15.07.2009	160		97		225		93,72		56,82		131,80	
	160		75		225		93,72		43,93		131,80	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
16.07.2009	160		98		230		93,72		57,41		134,73	
	160		95		220		93,72		55,65		128,87	
	160		98		230		93,72		57,41		134,73	

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère		Ampère		Ampère		KWatt		KWatt		KWatt	
09.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
10.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
11.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
12.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
13.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
14.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
15.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
16.07.2009	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	
	181		106		198		106,03		62,09		115,98	

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt
25.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
26.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
27.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
28.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
29.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
30.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
31.07.2009	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					
	181	106	106	198	106,03	62,09	115,98					

	G36 Tour 2		G34 Tour 1		G38 Tour 3		Puissance Absorbée G36		Puissance Absorbée G34		Puissance Absorbée G38	
	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	Ampère	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt	KWatt
25.07.2009	160	95	220	93,72	55,65	128,87						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
26.07.2009	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	95	225	93,72	55,65	131,80						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
27.07.2009	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	95	225	93,72	55,65	131,80						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
28.07.2009	160	98	220	93,72	57,41	128,87						
	160	95	225	93,72	55,65	131,80						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
29.07.2009	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	95	225	93,72	55,65	131,80						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
30.07.2009	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	95	222	93,72	55,65	130,04						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
31.07.2009	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	98	230	93,72	57,41	134,73						
	160	95	225	93,72	55,65	131,80						

➤ **Puissance Nominale Moteur**

$$P_{Nominale} = \sqrt{3} \times U \times I_{nominale} \times \cos \varphi$$

La puissance nominale diffère d'un moteur à un autre, car les intensités nominales des trois tours sont différentes.

➤ **Calcul de la puissance absorbée moteur**

Les moteurs des trois ventilateurs sont alimentés par la basse tension 380V, via un transformateur alimenté par 5.5 KV la moyenne tension. La puissance absorbée pour ce type de moteur est calculée comme suit :

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

U	Tension (380 Volt)
I_{abs}	Intensité absorbée (Unité Ampère)
cos φ	Facteur de puissance

cos φ = 0.89 , c'est la valeur design indiquée par le constructeur sur les plaques signalétiques des trois moteurs.

ces moteurs absorbent une puissance électrique pour fournir une puissance mécanique à chaque ventilateur, les puissances mécaniques des trois ventilateurs des trois tours différent.

➤ **Tour E1 « G34 »**

Le ventilateur de la tour E1 avait la configuration de la figure 17 avec deux réducteurs (voir Annexe 02), en juillet 2005 le ventilateur a été changé (figure 18), et possède un seul réducteur ayant pour caractéristiques principales:

$$V_{entrée} = 1470 \text{ Tr/mn}$$

$$V_{sortie} = 139,47 \text{ Tr/mn}$$

$$V_{entrée}$$

Vitesse entrée réducteur (Tr/mn)

$$V_{sortie}$$

Vitesse sortie réducteur (Tr/mn)

Puissance absorbée par le ventilateur issue de la fiche technique (voir annexe 02)

$$P_{\text{Absorbée}} = 90 \text{ Cv} = 90 \times 0.735 = 66.15 \text{ Kw}$$

Commentaire

En y examinant les paramètres opératoires des trois tours de refroidissement et sachant que le moteur E1 est du même type que le moteur E2, on remarque que l'intensité du moteur E1 est très inférieure à celle de E2, ce qui nous donne une puissance électrique pour le moteur E1 inférieure à celle de E2, la puissance électrique du moteur E1 est très inférieure à la puissance nominale de ce même moteur, nous remarquons aussi, que l'intensité du moteur E1 était en 2000 de l'ordre de 150 Ampère, cependant en juillet 2009 est de 106 Ampère, elle diminue de 44 Ampère.

La réduction de cette puissance est due à un facteur principal, qui est le nombre réduit des pâles. A l'origine le ventilateur de la tour E1 possédait six (06) pâles, en juillet 2009, il est opérationnel uniquement avec trois (03) pâles, ce qui influence sur le couple résistant du moteur pour une même vitesse de rotation, donc le moteur aura moins de travail à faire (intensité réduite).

Recommandation 3

La raffinerie doit adapter le design de son ventilateur par rapport au design du moteur qui possède une puissance nominale 110Kw, qui doit travailler à sa puissance nominale pour un meilleur rendement. Le moteur de la tour E1 est surdimensionné par rapport au ventilateur de la tour E1.

➤ Tour E2 : G36

La tour E2 à son premier fonctionnement avait la configuration de la figure 17, La configuration de la tour de refroidissement est schématisée sur la figure 18, avec un seul Réducteur Type « SPIG » ayant pour caractéristiques principales :

$$V_{\text{entrée}} = 1470 \text{ Tr/mn} \quad V_{\text{sortie}} = 150,5 \text{ Tr/mn} \quad , \text{ Rapport} = 1/9,763$$

Puissance absorbée par le ventilateur issue de la fiche technique (voir annexe 02)

$$P_{\text{Absorbée}} = 81,5 \text{ Kw}$$

La puissance nominale telle que indiquée sur la fiche technique de ce moteur est égale à 110 kW, or, d'après le tableau des puissances calculées avec intensités mesurées par ampèremètre, la puissance électrique de ce moteur est égale à 106,3 kW, donc ce moteur travail à 96% de sa charge (rapport de charge % = puissance électrique absorbée/puissance électrique nominale)

Commentaire :

Le moteur de la tour E2 fonctionne près de son régime nominale, le rendement pourrait être encore amélioré soit en changeant le réducteur, soit en ajoutant le nombre de pales, mais économiquement ce n'est pas intéressant.

➤ **Tour E3 « G38 »**

Le ventilateur de la tour E3 avait la configuration de la figure 17, en 2008 le ventilateur a été changé (figure 18), possédant un seul réducteur, ce ventilateur contient huit (08) pales avec caractéristiques principales :

$$D = 7,95 \text{ m}$$

$$V_{\text{pales}} = 60 \text{ m/s}$$

D Diamètre des pales

V_{pales} Vitesse des pales

Puissance absorbée par le ventilateur issue de la fiche technique (voir annexe 02)

$$P_{\text{Absorbée}} = 99 \text{ Kw}$$

Commentaire :

La puissance nominale telle que indiquée sur la fiche technique de ce moteur est égale à 125 kW, or, d'après le tableau des puissances calculées avec intensités mesurées par ampèremètre, la puissance électrique de ce moteur est égale à 115,98 kW, donc ce moteur travail à 92% de sa charge (rapport de charge % = puissance électrique absorbée/puissance électrique nominale).

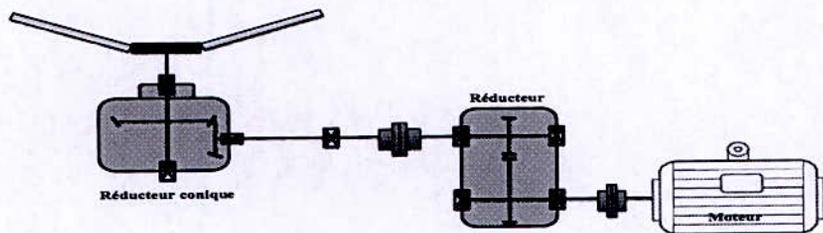


Figure 17. Schéma cinématique d'origine des ventilateurs G34, G36 et G38

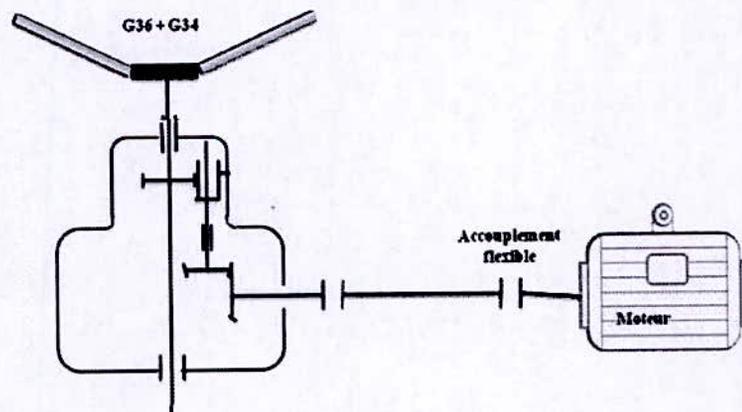


Figure 18. Schéma cinématique des nouveaux ventilateurs

➤ **Recommandations divers**

- Absence d'une base de données informatique centralisée au niveau de la Raffinerie d'Alger, toute information doit être dans une base de données centralisée, ce qui permet une circulation plus facile de l'information entre les différents intervenants et les services de la Raffinerie et pour y concevoir l'historique de l'entreprise, pour une gestion optimale des données au sein de la raffinerie d'Alger.
- Absence d'un système de régulation, toutes les valeurs et mesures sont relevées manuellement, aucun système de transmission des données vers une salle de commande (DCS), pas de régulation automatique des vannes, que ce soit pour les vannes d'injection chimique, vannes de purge, vanne d'appoint ainsi que la régulation pompes (débit pompe), cette régulation permet d'automatiser le système et de le servir à son juste besoin.
- Déplacer la purge au niveau du bac décanteur D1 ;
- Vérifier l'inclinaison des pales des ventilateurs des tours de refroidissement pour contrôler le débit d'air.

CONCLUSION

Le refroidissement évaporatif offre de nombreux avantages qui nécessitent d'être maintenus dans le temps par la mise en place de mesures préventives et d'un suivi adapté, mesures qui seront profitables au rendement de l'installation, le refroidissement est considéré, depuis plusieurs années, comme l'un des procédés les plus performants et économique, présent dans de nombreuses industries.

L'idée fondamentale de cette thèse est de faire des économies d'énergie en matière de consommation pour augmenter le rendement de ces tours de refroidissement, en y agissant sur le procédé lui-même ou en y intégrant d'autres procédés.

C'est donc dans le but d'exploiter de facteur d'économie d'énergie dans une industrie Algérienne que nous nous sommes intéressés aux tours de refroidissement de la raffinerie d'Alger.

À l'issue de cette étude, nous avons constaté qu'avec une installation simple, innovante et technologiquement réalisable, nous pouvions atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés, nous avons visés plusieurs recommandations, sur les différents équipements de ces tours.

Nous avons étudié les comportements de ces tours de refroidissement (thermiques, électrique...) pour le mois Juillet 2009, et en resumant les différentes recommandations, nous avons conclu que la troisième tour de refroidissement E3 présente une part minimale de rendement comparant aux deux autres tours E1 et E2, avec un $\Delta T(E3)$ qui atteint 4°C pour $\Delta T(\text{design}) = 11^{\circ}\text{C}$, tout en sachant que le système d'entraînement d'air fonctionne à charge nominale, vu tout ce qui a été cité dans notre étude, on peut conclure que les tours E1 et E2 peuvent absorber la charge thermique de la Raffinerie, en adoptant les mesures citées dans nos recommandations. Le gain généré par cette procédure s'élevait à 2.1 Millions Da/ans en terme d'économie d'énergie.

Bibliographie

➤ **Livres et rapports**

- [1] Rapport A.P.R.U.E, Année 2008.
- [2] Pr. E-H BENYOUSSEF, Audit Energétique, Année 2009.
- [3] JEAN-MARIE SEYNHAEVE, l'audit énergétique dans l'industrie, université catholique de Louvain.
- [4] Journal officiel du Ministère de l'Énergie et des Mines Année 2005.
- [6] Manuel Opérateur de la Raffinerie d'Alger Année 2006.
- [7] Rapports de l'audit énergétique de la raffinerie d'Alger et l'A.P.R.U.E Année 2002.
- [9] EVELINE JULIEN, SANDRINE LEGER, FRANÇOISE STOCHOUSE, guide Technique des différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations industrielles et tertiaires.
- [10] KRAUS, A.D.A.AZIZ, and J. WELTY, extended surface heat transfer, Wiley New York, 2001.
- [11] BOURNE (H) le traitement des eaux industrielles. Technique moderne Aout 1960.
- [12] PIERRE WUITHIER, le pétrole, raffinage et génie chimique Tom II, Edition Technip 1972.

➤ **Références électroniques**

- [5] www.sonatrach-dz.com
- [8] www.beaulierformation.qc.ca, Tours de refroidissement et traitement d'eau Théorie, sélection, opération, maintenance et dépannage
- [13] www.leonardo-energy.org , Rational Use of Energy in cooling
- [14] www.bourgogne.drire.gouv.fr Pr. Jean louis ROUBATY, Tour de refroidissement compréhension et prévention du risque legionella.

ANNEXES

ANNEXES 02

- **Caractéristiques du moteur de la troisième tour**

Caractéristiques Moteur E3

Service	Ventilateur réfrigérant E3
Quantité	1
Eplacement	Tour de refroidissement E3
Tension(V)	500
Intensité (A)	173
Fréquence(Hz)	50
Vitesse (t/mn)	1481
Puissance	125 Kw
Cos Phi	0,89
Machine entraînée	Ventilateur
IP	55
Sécurité	Etanche
Type de démarrage	direct
Position du moteur	Horizontale
Lieu d'installation	Extérieur
Observation	Alimenté sous 500 V par Tranfso 380/500 Vac

- **Caractéristiques du Ventilateur de la troisième tour**

Caractéristiques Ventilateur E3

Nombre de ventilo par cellule	1
Diamètre	7,95 m
Nombre de pâles par ventilateur	8
Vitesse en bout des pâles	< 60 m/s
Puissance absorbée	99 kW
Matière de construction des pâles	Fibre de verre et résine
Matière de construction du moyeu	Acier au carbon

- **Caractéristiques du moteur de la deuxième tour**

Caractéristiques Moteur E2

Service	Ventilateur réfrigérant E2
Quantité	1
Eplacement	Tour de refroidissement E2
Tension(V)	220/380
Intensité (A)	354/204
Fréquence(Hz)	50
Vitesse (t/mn)	1480
Puissance	110 Kw
Cos Phi	
Machine entraînée	Ventilateur
IP	55
Sécurité	Etanche
Type de démarrage	direct
Position du moteur	Horizontale
Lieu d'installation	Extérieur

- **Caractéristiques du Ventilateur de la de la deuxième tour**

Caractéristiques Moteur E1

Service	Ventilateur réfrigérant E1
Quantité	1
Eplacement	Tour de refroidissement E1
Tension(V)	220/380
Intensité (A)	354/204
Fréquence(Hz)	50
Vitesse (t/mn)	1480
Puissance	110 Kw
Cos Phi	
Machine entraînée	Ventilateur
IP	55-7
Sécurité	Etanche
Type de démarrage	direct
Position du moteur	Horizontale
Lieu d'installation	Extérieur

- **Caractéristiques des deux anciens réducteurs**

Réducteur type MESSION :

- 1er Réducteur :

Type : Mession RT 0.4

Vitesse arbre : Grande vitesse = 1470 Tr/mn, Petite Vitesse = 580 Tr/mn

- 2ième Réducteur :

Type : Mession TH1052

Vitesse arbre : Grande vitesse = 580 Tr/mn, Petite Vitesse = 168 Tr/mn

INTRODUCTION

CHAPITRE I

GENERALITES SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE

CHAPITRE II

LA RAFFERIE D'ALGER HISTORIQUE ET PRESENTATION

CHAPITRE III

LES TOURS DE REFROIDISSEMENT

CONCLUSION

GLOSSAIRE

G.C.E : Gros Consommateur d'Énergie

Température de bulbe humide de l'air : valeur de la température lue sur un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un coton mouillé d'eau distillée. Cette température est utilisée pour le dimensionnement des tours de refroidissement.

Température de bulbe sec de l'air : valeur de la température lue sur un thermomètre dont le bulbe est à l'air libre. Cette température est utilisée pour le dimensionnement des installations fonctionnant avec de l'air sec.

Appoint : quantité d'eau qui rentre dans le circuit de pulvérisation (ou le circuit de refroidissement) pour compenser celle perdue par évaporation, par les entraînements vésiculaires et les purges de déconcentration.

Approche : différence de température de l'eau froide et celle de bulbe humide de l'air ambiant. C'est une des caractéristiques principales de dimensionnement d'une tour aérorefrigérante.

Biofilm : dépôt associant bactéries, polymères naturels et sels minéraux se formant à la surface des eaux stagnantes et des canalisations.

Chaleur latente de vaporisation de l'eau : quantité d'énergie thermique qu'il faut fournir à 1 kg d'eau, ayant atteint sa température de vaporisation, pour la faire passer intégralement de l'état liquide à l'état gazeux.

Ecart thermique : différence entre la température du fluide à l'entrée et celle à la sortie de la tour de refroidissement.

Entraînement vésiculaire : émissions d'une installation de refroidissement par voie humide, constituées de fines particules d'eau (ou **aérosols**) entraînées dans l'atmosphère à la sortie de la tour de refroidissement. Ces gouttelettes ont la même composition que l'eau du circuit de la tour.

Facteur de concentration : rapport entre la quantité de sels dissous dans l'eau de circulation de la tour et dans l'eau d'appoint. Celui-ci dépend de la qualité de l'eau d'appoint et de celle admise par l'eau en circulation en fonction des matériaux utilisés sur les tours. Ce facteur de concentration est compris entre 2 et 4.

Packing ou corps d'échange : dispositif à travers lequel s'effectue le transfert thermique entre l'eau et l'air dans le cas de tours ouvertes (qui ne sont pas du type à "circuit primaire fermé").

Rampes de dispersion (encore appelée **rampes de pulvérisation**) : ensemble de tubes munis de disperseurs, situé à la partie supérieure de la tour de refroidissement destiné à amener l'eau en contact avec l'air. Les **disperseurs** (encore dénommés gicleurs ou buses) transforment le flux d'eau arrivant à la tour en gouttelettes qui se répartissent sur le corps d'échange de la tour de refroidissement.

Panache : air saturé en vapeur d'eau provenant de la quantité évaporée pour assurer le refroidissement du fluide qui crée un nuage visible à la sortie des tours de refroidissement. Ce panache est constitué par de l'eau pure qui n'entraîne aucun sel dissous.

Pare-gouttelettes, séparateur de gouttelettes, éliminateurs de goutte ou dévésiculeur : ensemble de chicanes, installé au sommet de la tour de refroidissement et destiné à retenir les gouttelettes d'eau pour limiter au maximum l'entraînement vésiculaire.

Perte d'eau par évaporation : quantité d'eau évaporée pour assurer le refroidissement du fluide. Elle correspond à l'échange thermique par chaleur latente de vaporisation de l'eau. Généralement cette perte d'évaporation est égale à 1% du débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement pour un écart thermique de 6 K.

Pincement : écart de température (en K) entre la sortie du fluide primaire (procédé) et l'entrée du fluide secondaire (circuit tour) dû à la présence d'un échangeur intermédiaire. Par exemple, pour obtenir une température désirée de fluide refroidi pour le procédé de 27°C à la sortie de l'échangeur intermédiaire, la température d'eau du circuit tour sera de 25°C en entrée de l'échangeur intermédiaire si ce dernier présente un pincement de 2 K.

Puissance thermique évacuée d'une installation de refroidissement : somme des puissances thermiques évacuées de chacune des tours de refroidissement.

Puissance thermique évacuée d'une tour de refroidissement : produit du débit massique d'eau à refroidir (en kg/s) par la capacité thermique de l'eau (en kJ/kg/K) et l'écart de température souhaité pour le refroidissement (en K). Cette puissance sert à sélectionner la tour de refroidissement pour un fonctionnement en régime été (avec une température de bulbe humide de l'air de l'ordre de 21°C) durant lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir. Cette puissance constitue la **puissance thermique maximale** de la tour de refroidissement. En fonctionnement durant la mi-saison et en hiver, la ventilation de la tour de refroidissement est régulée de façon à maintenir la température de sortie d'eau souhaitée.

Purge de déconcentration : quantité d'eau que l'on prélève au circuit de la tour pour contrôler la concentration en sels dissous. La quantité d'eau à purger est fonction de la concentration en sels admise par le circuit de refroidissement.

Chaleur sensible : C'est un échange thermique air/eau par contact direct où l'eau cédant de la chaleur à l'air frais

Pinch : que ce soit pour une nouvelle unité/installation ou pour plusieurs unités existantes, une analyse Pinch débute normalement par la réalisation d'un bilan de matière et d'énergie représentant chaque procédé de l'unité. Un modèle est alors effectué à partir de ce bilan de façon à représenter la charge thermique requise pour le chauffage et le refroidissement de chaque flux du procédé.