



THEME :

**MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE
DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE,
CAS DE LA SOTACI**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER
EN INGENIERIE DE L'EAU ET D'ENVIRONNEMENT
OPTION : ENERGIE ET GENIE DES PROCEDES
INDUSTRIELS**

**Présenté et soutenu publiquement le 26 Juin 2012 par :
François AMANI**

**TRAVAUX DIRIGES PAR :
Mr Francis SEMPORE, Enseignant 2iE
Mr KOFFI Guy Noël, Ingénieur Energéticien, Directeur 2EP**

Promotion : 2010-2012

JURY D'EVALUATION DU STAGE :

Président du jury : Ahmed BAGRE

**Membres et correcteur : Sidibe SAYON
Henri KOTTIN**

REMERCIEMENTS

Grâces soient rendues à Dieu le père tout puissant pour m'avoir permis d'effectuer mon cursus scolaire et en particulier cette étude clôturant mon cycle Master dans de bonnes conditions.

Je tiens par ailleurs à remercier particulièrement :

- ✓ Mr **KOFFI Guy Noël**, Directeur General de 2EP pour son soutien, ses conseils et sa disponibilité.
- ✓ Mr **Francis SEMPORE**, mon encadreur interne à 2iE.
- ✓ Mr **KONE Ousmane**, pour son soutien permanent à mon égard.
- ✓ Mr et Mme **KOKO**, pour leur soutien et leur hospitalité.

Tous les amis et camarades de promotion.

Tous les employés de la SOTACI pour leur disponibilité et leur sympathie.

Enfin, j'exprime mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude.

RESUME

Les systèmes de production d'eau glacée (07) de l'entreprise SOTACI se doivent d'être pérennes et toujours disponibles afin de garantir une viabilité technico-économique pour optimiser la production de l'entreprise.

Notre étude porte sur la mise en place d'une politique de maintenance des groupes de production d'eau glacée de l'entreprise SOTACI. Elle s'avère être très importante pour l'entreprise 2EP ayant en charge la maintenance de ceux-ci.

A cet effet, nos investigations suivant sept étapes ont révélé d'importantes anomalies telles :

- L'insalubrité des sites abritant les groupes de production d'eau glacée.
- La corrosion de la carrosserie des groupes de production d'eau glacée.
- L'encrassement des condenseurs des groupes de production d'eau glacée.
- L'entartage très prononcé du chiller des groupes de production d'eau glacée.
- Les durées courte et infinie de cycle de régulation des groupes de production d'eau glacée.
- La fuite de FF au niveau du circuit frigorifique des groupes.
- Le régime d'eau glacée (réduction de la consommation en énergie électrique des motopompes).
- La surconsommation en énergie électrique des groupes de production d'eau glacée.

Toutes ces anomalies ont des répercussions néfastes sur la durée de vie des moto-compresseurs, synonyme d'arrêt des groupes de production de froid.

De ce fait, certaines actions comme l'entretien d'hygiène (dépoussiérer les condenseurs, nettoyer les carrosseries,...etc) des groupes et des sites les abritant suivant un planning hebdomadaire élaboré à cet effet, le suivi mensuel des ventilateurs des groupes, et le suivi mensuel des compresseurs contribueront certainement à la disponibilité et à la pérennité des groupes de production d'eau glacée de l'entreprise SOTACI.

MOTS-CLES : **1-SOTACI**

2-Maintenance des groupes de production d'eau glacée

3-Bilan efficacité énergétique

4-Pertes frigorifiques

5-Hygiène

ABSTRAT

The systems of production of water frozen (07) of company SOTACI must be perennial and always available in order to guarantee a technico-economic viability to optimize the production of the company. Our study relates to the installation of a policy of maintenance of the groups of production of water frozen of company SOTACI. It proves to be very significant for company 2EP having charges maintenance of it of those.

To this end, our investigations according to seven stages revealed significant anomalies such:

- The insalubrity of the sites sheltering the groups of production of frozen water.
- The corrosion of the body of the groups of production of frozen water.
- The clogging of the condensers of the groups of production of frozen water.
- Very marked waste of the chiller of the groups of production of frozen water.
- Durations short and infinite of cycle of regulation of the groups of production of frozen water.
- The escape of FF on the level of the refrigerating circuit of the groups.
- The frozen water mode (reduction of consumption in electric power of the motor-driven pumps).
- Over consumption in electric power of the groups of production of frozen water.

All these anomalies have harmful effects on the lifespan of the compressor units, synonymous with stop of the groups of production of cold.

So certain actions like the maintenance of hygiene (to vacuum-clean the condensers, to clean the group of production... etc) groups and sites sheltering them according to an elaborate weekly planning for this purpose, the monthly follow-up of the ventilators of the groups, and the monthly follow-up of the compressors will certainly contribute to the availability and the perennially of the groups of production of water frozen of company SOTACI.

KEYWORDS: 1-SOTACI

2-Maintenance of the groups of production of frozen water

3- Energy balance effectiveness

4-Refrigerating losses

5-Hygiene

LISTE DES ABREVIATIONS

PHP	:	Pressostat Haute Pression
PBP	:	Pressostat Basse Pression
PCO	:	Pressostat Combiné
FF	:	Fluide Frigorigène
PMH	:	Point Mort Haut
PMB	:	Point Mort Bas
SOTACI	:	Société de Tubes d'Acier de Côte d'Ivoire
2EP	:	Entreprise d'Etude et de Prestation de Service
EV	:	Electrovanne
BL	:	Bouteille Liquide
FD	:	Filtre Déshumidificateur
V	:	Voyant liquide
D	:	Détendeur
R A S	:	Rien à Signaler
P1	:	Motopompe 1
P2	:	Motopompe 2
P3	:	Motopompe 3
P4	:	Motopompe 4
C	:	Communicateur

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
ABSTRAT	iii
I. INTRODUCTION GENERALE	2
I.1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	2
I.2. JUSTIFICATION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	3
I.2.1 Justification de l'étude.....	3
I.2.2. Objectifs de l'étude	3
I.2.3. Approche Méthodologique et Outils nécessaires	4
II. GENERALITES SUR L'ENTREPRISE SOTACI	4
II.1. HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE SOTACI	4
II.2. GENERALITES SUR LES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	7
III. DESCRIPTIF DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DES UNITES DE PRODUCTION DE LA SOTACI	7
III.1. LES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	8
III.1.1. Organes principaux du groupe de production de froid à compression de vapeur.....	8
III.1.2. Le cycle frigorifique de référence.....	8
III.1.3 Application du premier principe de la thermodynamique au cycle de production de froid.....	9
III.2. PRINCIPE DEFONCTIONNEMENT DES PRINCIPAUX ORGANESDES GROUPES DE PRODUCTIONDEFROIDDELA SOTACI	10
III.2.1 Les Compresseurs.....	10
III.2.2. Composition interne selon les vues éclatées d'un compresseur à pistons	10
III.2.3. Le condenseur	12
III.2.4 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression interne.....	13
III.2.5 L'évaporateur à détente sèche.....	13
III.2.6. Les tuyauteries frigorifiques	14
III.2.8 Les organes de protection et de sécurité : Les pressostats	15
III.2.9. Protections électriques	16
III.3. SCHEMA TYPE D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE	16

III .4 SCHEMA EXPLICITE DES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT DES PROCES DE FABRICATION DES DIFFERENTES UNITES DE PRODUCTION	17
III .5. CARACTERISTIQUES DES GROUPES DE PRODUCTION(07) D'EAU GLACEE DE.....	18
LA SOTACI	18
III.5.1. Inventaire des principaux organes	18
III.5.2. Inventaire des organes annexes	19
III.5.3. Inventaire Circuits Hydrauliques et Bassins d'eau froide/ chaude	20
IV. ETUDE DIAGNOSTIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE.....	20
IV.1. HYGIENE DES SITES ETDES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	20
IV.1.1. Hygiène des groupes de production d'eau glacée	20
IV.1.2. Hygiène des sites	21
IV.2. ANALYSE DE LA DUREE DU CYCLE DE REGULATION DES GROUPES	23
DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	23
IV.2.1 Observation de la durée de cycle de régulation des groupes de production d'eau glacée	23
IV.3. ANALYSE DU REGIME D'EAU GLACEE DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	24
IV.3.1 Observation du régime d'eau glacée des différents groupes de production d'eau glacée	24
IV.4 ANALYSE DES MESURES DE TEMPERATURE DE REFOULEMENT DES FF (R22, R407C) EN SORTIE DU COMPRESSEUR.....	26
IV.4.1 Observation des mesures de température de refoulement des FF.....	26
IV.5 ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LE FLUIDE REFROIDISSANT ET LE CONDENSEUR	26
IV.5.1 Observation de la mesure de l'écart de température (Tcond-Tair).....	27
IV.6. ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LA TEMPERATURE T°	27
(Évaporation) ET LA TEMPERATURE T°eau SORTIE EVAPORATEUR.	27
IV.6.1 Observation des écarts de température	28
IV.7. ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LA TEMPERATURE EVAPORATION(BP) ET LA TEMPERATURE ASPIRATION A L'ENTREE DU COMPRESSEUR....	28
IV.7.1 Observation des écarts de température entre les températures évaporation et aspiration.....	28
V. BILAN DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE DES GROUPES D'EAU GLACEE ET DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE	29
V.1 BILAN DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE DES GROUPES D'EAU GLACEE	29
V.1.1 Hygiène des groupes et des sites les abritant	29
V.2. BILAN EFFICACITE ENERGETIQUE.....	30
V.2.1 Pertes de frigories en ligne.....	30
VI. RECOMMANDATIONS.....	35
VII. CONCLUSION	39

ANNEXES	41
ANNEXE1 :SUIVI TRIMESTRIEL DU COMPRESSEUR.....DU GROUPE.....DE L'UNITE	42
ANNEXE 2 : SUIVI MENSUEL DES VENTILATEURS DUGROUPE.....DE PRODUCTION D'EAU GLACEE DE L'UNITE	44
ANNEXE 3 : DIAGRAMME PSYCHOMETRIQUE	45
ANNEXE 4: Terme de référence de l'étude.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Capacité de Production	6
Tableau 2 : Réseau commercial.....	6
Tableau 3: Caractéristiques des principaux organes des différents groupes.....	19
Tableau 4: Caractéristiques des organes annexes des groupes d'eau glacée.....	19
Tableau 5: Caractéristiques des circuits hydrauliques et bassins d'eau	20
Tableau 6: Etat physique des isolations des circuits frigorifiques et hydrauliques	22
Tableau 7: Caractérisation des durées moyennes des cycles de régulation des groupes d'eau glacée.....	23
Tableau 8: Caractéristiques du régime d'eau des groupes d'eau glacée.....	25
Tableau 9: Caractérisation des températures de refoulement des FF des groupes d'eau glacée	26
Tableau 10: Caractérisation des écarts de température de condensation.....	27
Tableau 11: Caractérisation des écarts entre température évaporateur et celle de l'eau sortie évaporateur	28
Tableau 12: Caractérisation de la surchauffe des groupes d'eau glacée	29
Tableau 13: Planning hebdomadaire pour l'entretien des groupes d'eau glacée	35

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Schéma de base de la machine frigorifique.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 2 : Schéma de cycle de production de froid.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3 : Vues éclatées du compresseur avec le moteur électrique.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4 : Vues du dispositif mécanique du compresseur.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Condenseur a air.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6 : Détendeur thermostatique à égalisation de pression interne.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7 : Vues d'évaporateurs multitubulaires du type détente sèche.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 8: Tableau électrique et automatisme.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 9: Schéma type d'une installation frigorifique.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 14 : circuit eau glacée exposé au soleil</i>	<i>Figure 15 : Bassins d'eau froide exposés au soleil.....30</i>

I. INTRODUCTION GENERALE

I.1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises subissent de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers deviennent de plus en plus exigeants et demandent en outre des produits et des services de bonnes qualités à moindre coût livrés rapidement au bon moment. Pour satisfaire la demande en qualité, en quantité tout en respectant les délais de livraison et les coûts, les entreprises doivent disposer d'un outil de production fiable donc bien entretenu.

Le maintien de ces systèmes de production en état ou leur maintenance est l'aboutissement en partie d'un travail d'entretien d'envergure en amont. Les concepts de la maintenance définissent des façons de faire pour maximiser la performance globale de l'entreprise. La mise en œuvre de ces concepts exige des ressources humaines compétentes, des outils et du matériel adapté aux équipements et aux installations à entretenir.

Les entreprises d'envergure internationale en générale manifestent beaucoup d'intérêts quant à la maintenance de leur système de production. Ainsi la Société de fabrication des Tubes d'Acier et d'Aluminium de Côte d'Ivoire(SOTACI) leader en Afrique de l'ouest n'évolue pas en marge de cette réalité. Les activités liées à la fabrication de tubes d'acier et d'aluminium, de machettes, de gante de motos et vélos, de grillage, de fer à béton etc..., génèrent l'émission d'énergie thermique. La production de celle-ci, à un taux relativement élevé, dégrade les pièces constitutives de ces machines de production. La dégradation, voir la destruction de ces machines affecte ou favorise l'arrêt des procès de fabrication, perturbant ainsi le respect des délais de livraisons des commandes en attentes. Le non-respect pourrait aussi engendrer des pénalités pour l'entreprise SOTACI.

Cependant le refroidissement de ces systèmes de production est indispensable pour le bon fonctionnement de l'entreprise. Ainsi les refroidisseurs à eau glacée paraissent comme des organes vitaux dans la vie de l'entreprise. A cela s'ajoute le fait que la SOTACI est certifiée à la norme de qualité ISO 9001 version 2008, aussi elle s'est engagée à la norme de l'environnement ISO 14001.

L'Entreprise d'Etude et de Prestations de service (2EP) est une entreprise spécialisée dans les domaines de l'énergétique notamment le froid, la climatisation, le thermique industriel et l'électricité. Dans l'exercice de ses fonctions, elle accompagne les entreprises dans la réalisation des travaux neufs et des travaux de maintenance. C'est à cet effet qu'elle assure la maintenance en général de l'entreprise SOTACI.

En vue de se conformer aux exigences des normes de qualité et de l'environnement auxquelles la SOTACI est soumise, l'entreprise 2EP prestataire et fournisseur de l'entreprise SOTACI vise à mettre en place une politique de maintenance des groupes de production d'eau glacée dont elle a en charge. Cependant l'arrêt brusque prolongé et intempestif des groupes de production d'eau glacée impacte directement et négativement sur la production. Il est question d'étudier l'adéquation entre la disponibilité des groupes d'eau glacée, leur efficacité énergétique et les objectifs de production optimale de la SOTACI.

On pose dans un premier temps un diagnostic des 7 groupes de production d'eau glacée. Ensuite on fait le bilan de l'étude diagnostique et d'efficacité énergétique de tous les groupes de production d'eau glacée et de leurs annexes. De cela découleront des recommandations dans l'objectif de les rendre au mieux disponibles et pérennes.

I.2. JUSTIFICATION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.2.1 Justification de l'étude

La présente étude s'inscrit dans une vision de rendre tous les groupes de production d'eau glacée disponibles et pérennes afin que tous les objectifs de production de l'entreprise SOTACI soient atteints. En effet, la SOTACI tient énormément à un meilleur rendement de ces groupes de production d'eau glacée. La maintenance de ces groupes a été confiée à l'entreprise 2EP dont sa fonction majeure étant d'assurer leur pérennité permettant ainsi à la SOTACI une meilleure rentabilité. La 2EP se doit donc de se munir d'outils fiables lui permettant de mieux s'orienter dans les décisions à prendre et les actions à mener. Cette étude est d'autant plus importante pour l'entreprise 2EP car elle lui permettra de prendre les mesures qui s'imposent au bon fonctionnement des groupes de production d'eau glacée pour permettre à l'entreprise SOTACI d'atteindre ses objectifs de production.

I.2.2. Objectifs de l'étude

- **Objectif général de l'étude**

L'objectif général du travail est de faire un diagnostic et une analyse de la situation existante de tous les facteurs qui ont un impact négatif sur le bon fonctionnement des groupes de production d'eau glacée en vue de proposer des mesures permettant leur disponibilité et leur pérennité.

- **Objectifs spécifiques de l'étude :**

Les objectifs suivants, dits spécifiques sont conçus pour favoriser la réalisation de l'objectif général. Ce sont :

- L'étude diagnostique des groupes d'eau glacée ;
- Le résultat de l'étude diagnostique et l'efficacité énergétique des groupes ;
- Des recommandations.

I.2.3. Approche Méthodologique et Outils nécessaires

L'approche méthodologique a consisté en :

- Une analyse du récapitulatif des interventions sur les groupes durant les deux dernières années;
- Des entretiens avec les intervenants.
- Des diagnostics des systèmes existants (Groupe de production de froid) ;

En vue d'effectuer une bonne étude diagnostique, certaines activités chacune basée sur une méthode et utilisant des outils différents ont été menées. Ce sont :

➤ **Evaluation de la durée moyenne du cycle de régulation, du temps de marche, et du temps d'arrêt de chacun des groupes de production d'eau glacée à l'aide d'un chronomètre :**

Cette méthode consiste à démarrer puis arrêter le chronomètre vingt fois de suite à différents moments de la journée (c'est-à-dire : A 10h, A 14h, pour évaluer le temps qui s'écoule entre l'enclenchement du compresseur, en passant par son arrêt, jusqu'à son enclenchement à nouveau pour chacun des différents groupes de production d'eau glacée.

➤ **Evaluation des écarts de température sur les principaux organes de chacun des groupes à l'aide d'un thermomètre à infrarouge et de la lecture de la basse pression BP et haute pression HP au manomètre :**

Cette méthode consiste à prélever les températures sur les principaux organes et certains organes annexes de chacun des groupes de production d'eau glacée en vue d'y procéder à des analyses objectives.

II. GENERALITES SUR L'ENTREPRISE SOTACI

II.1. HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE SOTACI

La SOTACI fut créée en 1978 par le groupe KHALIL sous l'assistance technique du groupe français VALLOUREC, le groupe EL KHALIL. Elle est la première société anonyme au capital de 3,46 milliards de francs CFA et un chiffre d'affaire de 43,3 milliards de F CFA. Soucieuse d'accroître sa production et de s'implanter comme leader de la transformation de l'acier et de l'aluminium en Afrique, depuis plus de 20 ans, la SOTACI a développé ses activités et diversifié ses marchés pour apparaître aujourd'hui comme le leader de la transformation d'acier en Afrique de l'Ouest. Cette volonté passe par la mise sous qualité de la SOTACI qui doit garantir la totale satisfaction de ses clients par :

-la maîtrise des procédés de fabrication: conformité et fiabilité des produits, disponibilité des équipements, compétences et sécurité des hommes.

Le partenariat avec les clients et les fournisseurs : accueil, écoute et collaboration. Cette politique mise en œuvre et appliquée, lui a permis d'aboutir à la certification **ISO 9001 version 2000**. L'usine est constituée de trois unités dont :

➤ **L'unité A** constituée de 4 sections :

- section TTP : tubes, profilés
- section tréfilerie : fil de fer de différent diamètre, grillage
- section baguette : électrodes de soudure
- section fer à béton

➤ **L'unité B** constituée de 4 sections :

- section machette
- section lime
- section brouette
- section fût métallique

➤ **L'unité C** constituée de 2 sections :

- section boulonnerie : boulons métalliques galvanisés ou noirs, tiges filetées de toiture, tire-fond

-section clouterie : pointes n 2 à 12, crampillons.

Tableau 1: Capacité de Production

Gammes de produits	Capacité de production (en tonne Tou unité U)
Tubes soudés	15.000 T
Profilés à froid	6.000 T
Tôle refendue	60.000 T
Brouettes	140.000 U
Machettes	
Pelles	250.000 U
Fûts	125.000 U
Fer à béton et fer carré	100.000 T
Pointes et clous	12.000 T
Boulonnerie	2.000 T
Fil recuit	12.000 T
Treillis soudés	2.000 T
Grillages et ronces	2.400 T
Electrodes de soudure	1.500 T
Limes	3.000.000 U

Tableau 2 : Réseau commercial

REGIONS	PAYS
	BENIN

AFRIQUE OCCIDENTALE	BURKINA FASO
	COTE D'IVOIRE
	GAMBIE
	GUINEE
	LIBERIA
	MALI
	MAURITANIE
	NIGER
	NIGERIA
	SENEGAL
	SIERRA LEONNE
	TOGO
	AFRIQUE CENTRALE	CAMEROUN
CENTRAFRIQUE	
CONGO BRAZAVILLE	
GABON	
RDC	
TCHAD	
AFRIQUE ORIENTALE	GUINEE-EQUATORIAL
	SAO TOME
	TANZANIE
AFRIQUE AUSTRALE	AFRIQUE DU SUD
	ANGOLA
	ILE DE LA REUNION
	MADAGASCAR
	SEYCHELLES

II.2. GENERALITES SUR LES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

La SOTACI regorge en son sein 07 groupes de production d'eau glacée (les groupes CIAT, Carrier 1, Carrier 2, Euroklimat, Eurodifroid, Frigomeccanica, MTA). A l'exception du groupe Eurodifroid, tous les groupes sont des machines de seconde main et relativement âgées. Ce qui explique l'absence de données techniques de ces groupes. Ils sont tous des machines de production d'eau glacée par compression.

III. DESCRIPTIF DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DES UNITES DE PRODUCTION DE LA SOTACI

L'objectif de notre étude est de chercher les causes de la fréquence des pannes qui surviennent sur les groupes de production d'eau glacée de l'entreprise SOTACI et ensuite de proposer des solutions pour y remédier.

L'étude diagnostique des systèmes de refroidissement se révèle donc être prépondérante dans notre démarche. En effet, l'étude consistera en une description des entités composant chacun des sept (07) systèmes de production de froid des différentes unités de production de la SOTACI. Ensuite nous procéderons à une analyse approfondie et détaillée de l'état de fonctionnement des principaux organes pouvant influencer la pérennité des groupes de production d'eau glacée. Enfin nous proposerons des solutions durables sur la base des analyses faites en vue d'atténuer considérablement la fréquence des pannes identifiées sur chacun des groupes de production d'eau glacée et d'assurer leur pérennité.

III.1. LES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

Les machines à compression utilisent de l'énergie mécanique fournie généralement par un moteur électrique.

Notre étude se portera sur les groupes de production d'eau glacée par le mode de compression, ceux utilisés à l'entreprise SOTACI.

III.1.1. Organes principaux du groupe de production de froid à compression de vapeur

La machine frigorifique à compression de vapeur est composée de 4 organes principaux que sont : **le compresseur, le condenseur, le détendeur, l'évaporateur**

Le fluide frigorigène décrit un cycle fermé en quatre phases à travers le circuit constitué des organes principaux :

- ✓ la compression du fluide gazeux
- ✓ la condensation du fluide gazeux
- ✓ la détente du fluide liquide
- ✓ la vaporisation du fluide liquide (production du froid)

III.1.2. Le cycle frigorifique de référence

Le cycle frigorifique d'une machine frigorifique est habituellement représenté dans le diagramme thermodynamique enthalpie (h) - pression (Log P) appelée diagramme de Mollier des frigoristes

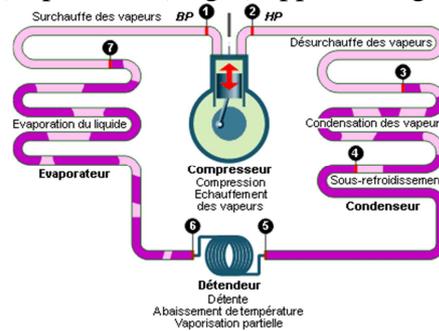


Figure 1 : Schéma de base de la machine frigorifique.

Suivant le schéma de la machine frigorifique de la **figure 1**, le fluide frigorigène (FF) circulant dans le circuit frigorifique suit les évolutions suivantes :

- entre 1 et 2 : compression des vapeurs de FF qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP)
- entre 2 et 3 : désurchauffe des vapeurs de FF HP
- entre 3 et 4 : condensation des vapeurs de FF HP qui deviennent du FF liquide HP
- entre 4 et 5 : sous refroidissement du FF liquide HP
- entre 5 et 6 : détente du FF liquide HP qui devient un mélange de liquide BP et d'une faible quantité de vapeurs BP
- entre 6 et 7 : évaporation du FF liquide BP qui devient des vapeurs de FF BP
- entre 7 et 1 : surchauffe des vapeurs de FF BP

Les différentes évolutions du FF de la machine frigorifique sont représentées sur le diagramme enthalpique, il s'agit du cycle frigorifique de la machine communément appelée cycle de référence ou cycle pratique par les frigoristes.

III.1.3 Application du premier principe de la thermodynamique au cycle de production de froid

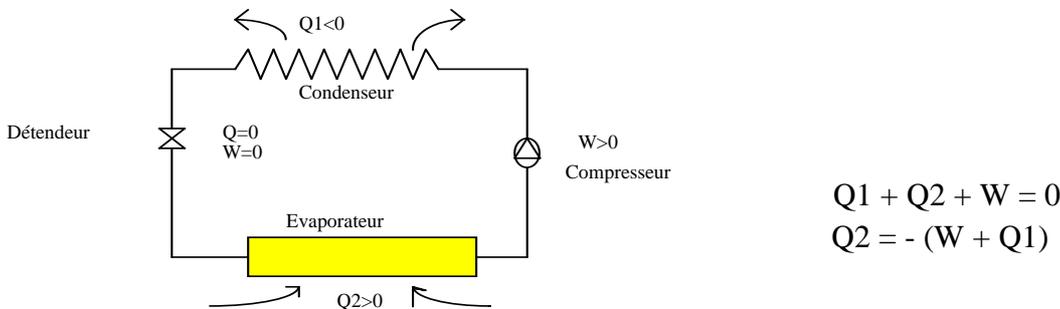


Figure 2 : Schéma de cycle de production de froid.

III.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES PRINCIPAUX ORGANES DES GROUPES DE PRODUCTION DE FROID DE LA SOTACI

III.2.1 Les Compresseurs

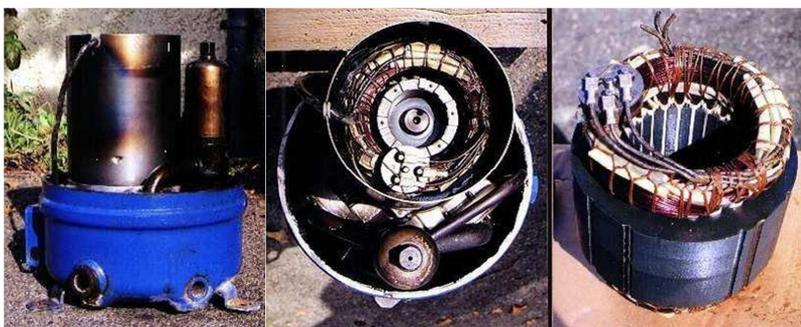
Le second principe de la thermodynamique stipule qu'il ne peut y avoir passage de chaleur d'un bas niveau de température à un niveau de température plus élevé sans dépense d'énergie, et la chaleur ne peut être transformée en travail que lorsqu'il existe une différence de température.

En effet sans compresseur, il est impossible de porter les vapeurs de fluide frigorigène sortant de l'évaporateur d'un bas niveau de température (et donc de pression) au niveau de température (et donc de pression) plus élevé nécessaire pour qu'il puisse y avoir condensation, c'est-à-dire évacuation de chaleur vers le milieu ambiant (air).

Ce n'est donc pas sans raison que le compresseur frigorifique est considéré comme le cœur de toute installation frigorifique à compression de vapeur.

Lorsqu'on parle de compresseur, on sous-entend moto compresseur, le compresseur étant la partie mécanique entraînée par un moteur électrique. Suivant le type de liaison ou d'association entre les deux parties, on distingue : **les compresseurs hermétique, les compresseurs ouverts, les compresseurs semi hermétiques ou semi ouverts**

III.2.2. Composition interne selon les vues éclatées d'un compresseur à pistons



Cylindre

Bobine et Rotor

Bobine

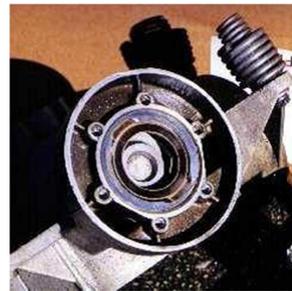
Figure 3 : Vues éclatées du compresseur avec le moteur électrique.



Cylindres en V



Vilebrequin



Orifices aspiration – clapet



Piston et son axe monté sur bielle Clapet



BP - piston et axe – bielle – segment – plaque à clapet

Figure 4 : Vues du dispositif mécanique du compresseur

Le piston d'un compresseur évolue entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB) suivant le cycle ci-dessous (cycle correspondant à un tour de l'arbre - vilebrequin) :

- le piston étant au PMH, le clapet d'aspiration va s'ouvrir (en effet le clapet d'aspiration s'ouvre dès la course descendante du piston sous l'effet de la pression de la chambre d'aspiration qui devient supérieure à la pression régnant dans le cylindre), l'aspiration par le clapet d'aspiration des vapeurs de fluide frigorigène provenant de l'évaporateur s'opère alors au fur et à mesure que le piston continue à descendre, pendant cette phase, le clapet de refoulement est fermé.
- lorsque le piston atteint le PMB, le cylindre est rempli de vapeurs à la pression d'évaporation (P_0), le clapet de refoulement reste fermé et le clapet d'aspiration se ferme (ou va se fermer très rapidement); en effet lorsque le piston va commencer à remonter, la pression dans le cylindre augmente et lorsqu'elle devient légèrement supérieure à la pression régnant dans la chambre d'aspiration, le clapet d'aspiration va se fermer

- partant du PMB, le piston remonte, le volume intérieur contenant les vapeurs se réduit permettant d'obtenir la compression de ces vapeurs et lorsque la pression devient légèrement supérieure à la pression P_c (pression régnant dans la chambre de refoulement), le clapet de refoulement s'ouvre et le refoulement des vapeurs s'opère jusqu'à ce que le piston atteigne le PMH.
- le piston ayant atteint le PMH, les vapeurs de fluide frigorigène viennent d'être refoulées vers le condenseur, dans l'espace mort ou espace nuisible (espace entre le haut du piston en PMH et le haut du cylindre) les vapeurs sont enfermées à la pression P_c , le clapet d'aspiration est fermée et le clapet de refoulement se ferme (ou va se fermer très rapidement) ; en effet à partir de la PMH, le piston va commencer à redescendre, la pression dans le cylindre va diminuer ce qui va permettre au clapet de refoulement de se refermer (assez rapidement) lorsque la pression dans la chambre de refoulement va être supérieure à pression régnant dans le cylindre.

III.2.3. Le condenseur

Le **condenseur** est un échangeur de chaleur qui va permettre l'évacuation de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux issu du compresseur en le liquéfiant. Cette condensation (liquéfaction) est obtenue par le refroidissement du fluide frigorigène gazeux à pression constante par un médium qui est de l'air.

Cette évacuation de chaleur s'effectue en trois étapes :

- la désurchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (évacuation par chaleur sensible – tronçon AB)
- la condensation des vapeurs (évacuation par chaleur latente – étape principale – tronçon BC)
- le sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (évacuation par chaleur sensible – tronçon CD)

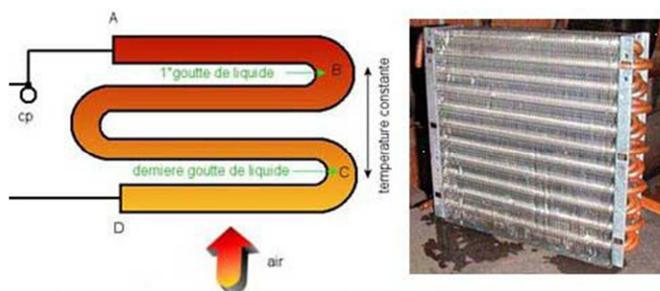


Figure 5 : Condenseur à air

III.2.4 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression interne

Ils régulent la surchauffe des vapeurs de FF à la sortie de l'évaporateur en réglant le débit de FF admis à l'évaporateur quel que soit sa charge thermique. La valeur de la surchauffe généralement admise pour assurer un remplissage correct de l'évaporateur et la protection du compresseur (vapeurs surchauffées) est comprise entre 4 et 8°C.

Le détendeur thermostatique à égalisation de pression interne comprend:

- le corps du détendeur dans lequel sont renfermés :
- le filtre à tamis placé à l'entrée (arrivée du FF dans le détendeur)
- la membrane (soufflet) qui est solidaire d'un pointeau et d'un ressort de réglage muni d'une vis de réglage accessible
- le bulbe situé à la sortie de l'évaporateur et solidaire de la tuyauterie, il mesure la température du FF à la sortie de l'évaporateur, sa fixation doit être solide et sa position doit suivre certaines règles (ne pas être positionné en bas de tuyauterie)
- le tube capillaire qui transmet la mesure du bulbe au corps du détendeur, l'ensemble tube capillaire et bulbe est appelé train thermostatique.

Le fonctionnement de ce détendeur résulte de l'équilibre des forces entre:

- la pression du fluide contenue dans le train thermostatique (force descendante sur la membrane)
- la pression d'évaporation dans l'évaporateur (force ascendante sur la membrane)
- la pression exercée par le ressort de réglage (force ascendante sur la membrane).

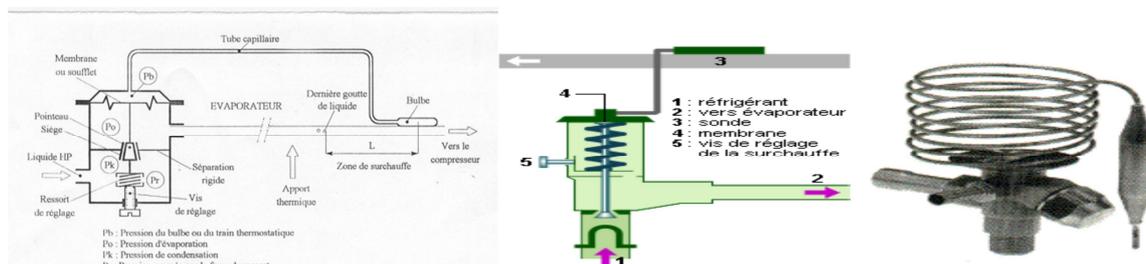


Figure 6 : Détendeur thermostatique à égalisation de pression interne.

III.2.5 L'évaporateur à détente sèche

L'évaporateur est un échangeur de chaleur dans lequel le fluide frigorigène liquide à bas niveau de température et de pression va absorber la chaleur du milieu à refroidir (air ou eau) à pression constante devenant ainsi gazeux. Cette absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :

- l'évaporation du fluide frigorigène liquide
- la surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide

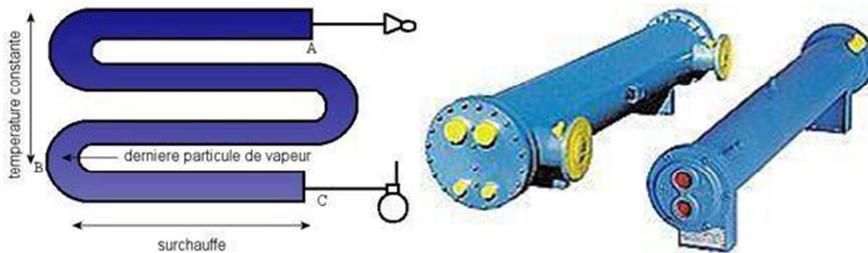


Figure 7 : Vues d'évaporateurs multitubulaires du type détente sèche.

III.2.6. Les tuyauteries frigorifiques

Suivant le tronçon de tuyauterie de FF dans le circuit frigorifique, on distingue :

- la tuyauterie de refoulement : c'est le tronçon entre le compresseur et le condenseur qui acheminent les vapeurs chaudes de FF.
- la tuyauterie liquide : c'est le tronçon entre le condenseur et le détendeur qui véhicule le FF liquide venant du condenseur.
- la tuyauterie d'aspiration : c'est le tronçon entre l'évaporateur et le compresseur qui véhicule les vapeurs de FF issues de l'évaporateur.

III.2.7. Les organes annexes du groupe de production de froid

Le réservoir de liquide : Il est placé à la sortie du condenseur et sert à stocker le FF liquide a la mise en d'arrêt de l'appareil ou lors des opérations de maintenance. Il joue également un rôle important dans la régulation du système frigorifique lorsque les variations de charges thermiques sont importantes.

La bouteille anti-coups de liquide : Elle est placée entre l'évaporateur et le compresseur (à proximité du compresseur) et son rôle est d'éviter l'aspiration éventuelle de FF liquide par le compresseur: prévention des coups de liquide.

Le séparateur d'huile : Il est placé juste après le compresseur et permet de recueillir les gouttelettes d'huile entraînées par les vapeurs de FF comprimées, d'évaporer le FF éventuellement présent et de renvoyer l'huile au niveau du carter du compresseur.

Les ventilateurs : Sur les groupes de production d'eau glacée, les ventilateurs se rencontrent sur les condenseurs à air à convection forcée.

Le filtre déshydrateur : Le filtre déshydrateur rassemble dans le même appareil les fonctions de filtre et de déshydrateur. Il maintient à un niveau acceptable la teneur en eau du FF contenu dans un circuit frigorifique.

Les voyants :

Le voyant simple (verre épais serti dans une embase métallique) est un organe placé juste avant le détendeur et après le filtre déshydrateur. Il permet de contrôler la présence éventuelle de bulles donc de FF à l'état vapeur, indice d'anomalie (charge insuffisante en FF, filtre déshydrateur bouche, SR insuffisant...).

Eliminateur de vibrations : Il permet de réduire les vibrations transmises au circuit frigorifique par le compresseur en mouvement et d'absorber les tensions dues aux dilatations et aux contractions des conduits. Il se monte le plus près possible de l'organe qui produit ces vibrations (refoulement compresseur, aspiration compresseur...). Il est constitué d'un tuyau flexible ondulé réalisé en inox ou en cuivre et revêtu d'une tresse en fil d'acier galvanisé ou en cuivre.

III.2.8 Les organes de protection et de sécurité : Les pressostats

Il y a 4 grandes familles de pressostats: **le pressostat BP, le pressostat HP, le pressostat mixte, le pressostat différentiel.** Ces automates se divisent en trois catégories: **Commande, Sécurité, Contrôle.** Ils sont destinés à ouvrir puis fermer un circuit électrique à des valeurs de pressions déterminées par le réglage.

Description: Ces automates se décomposent en trois parties principales:

- L'entraînement mécanique: Un système de biellettes solidaire du soufflet, transmet les renseignements de ce dernier à un interrupteur électrique.
- L'interrupteur électrique: Commandé par le mécanisme, il ouvre le circuit ou le ferme suivant l'utilisation qu'on lui donne.
- Le détecteur : C'est l'élément moteur de l'appareil, formé d'un soufflet qui réagit aux différentes pressions, il transmet ses renseignements au mécanisme.

III.2.9. Protections électriques



Figure 8: Tableau électrique et automatisme

Les protections électriques (fusibles, relais thermiques, disjoncteurs magnéto thermiques...) occupent une grande place dans la protection des équipements électriques (moteurs des compresseurs, des ventilateurs et des pompes) des installations frigorifiques.- les vérifications que :

-les intensités électriques absorbées sont inférieures ou égales aux valeurs notées sur les plaques signalétiques.

- le réglage des appareils de sécurité et de régulation (thermostats, pressostats...) est correct.

La plupart des défauts électriques des compresseurs « moteur grillé» a pour origine une surintensité qui peut résulter d'une surchauffe excessive et les origines possibles sont les suivantes :

- origine électrique (chute de tension prolongée, surtension, mauvais réglage des sécurités, connections électriques mal serrées...)

- origine frigorifique (HP trop élevée, présence d'acides dans le circuit...)

- origine mécanique (grippage provoqué par un manque d'huile...)

III.3. SCHEMA TYPE D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE

Le schéma ci-dessous est une configuration généralement rencontrée pour les installations frigorifiques de chambres froides.

L'installation est composée :

- d'un groupe de condensation (ensemble compresseur et condenseur à air) alimentée par l'intermédiaire d'un contacteur électrique désignée KM1

- d'un évaporateur à air dont le moteur d'entraînement du ventilateur est alimenté par l'intermédiaire d'un contacteur KM2

- d'un thermostat de régulation désignée par B1 et placée dans la chambre froide

- d'un pressostat BP (Basse Pression) désignée par B3
- d'un pressostat de sécurité HP (Haute Pression) désignée par B2
- d'une électrovanne placée sur la ligne liquide désignée par EV
- d'une bouteille liquide BL, d'un filtre déshydrateur FD, d'un voyant indicateur d'humidité V et d'un détendeur thermostatique à égalisation de pression interne D.

Le pressostat BP désigné par B3 est :

- un pressostat de sécurité pour le type de régulation par action directe.

Les vannes de services du compresseur et la vanne de départ de la bouteille liquide ne sont pas représentées.

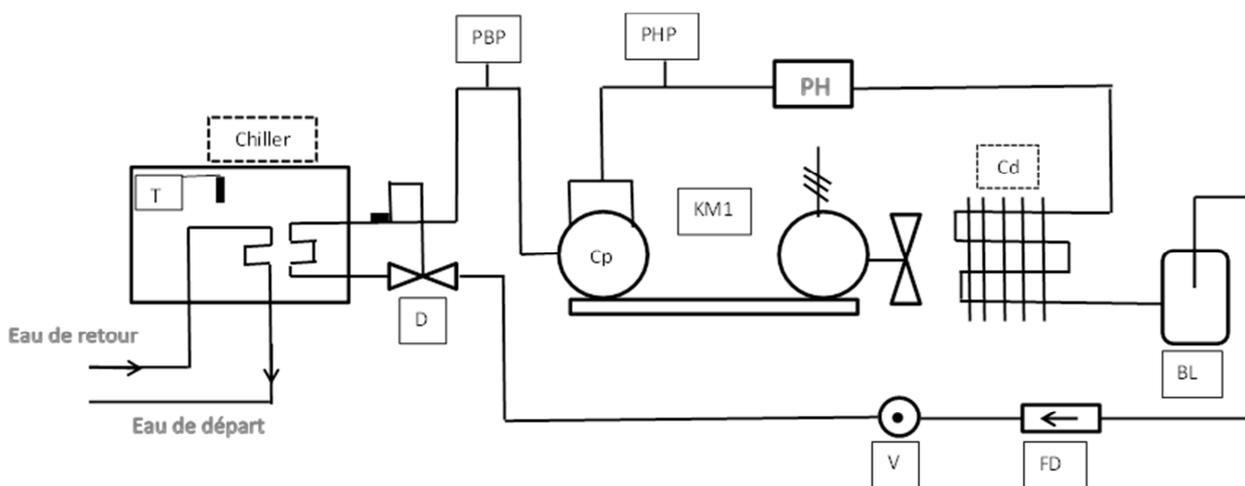


Figure 9: Schéma type d'une installation frigorifique.

III.4 SCHEMA EXPLICITE DES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT DES PROCES DE FABRICATION DES DIFFERENTES UNITES DE PRODUCTION

Le schéma ci-dessous est la configuration de l'installation du système de refroidissement des procédés de fabrication (Usine de fabrication de fûts, usine de fabrication de machettes, usine de fabrication de brouettes) de l'unité B

L'installation est composée :

- d'un groupe de production d'eau glacée (ensemble compresseur, condenseur à air, détendeur, Chiller) alimentée par l'intermédiaire d'un contacteur électrique
- des conduits pour assurer le transport de l'eau glacée.
- d'une motopompe P1 permettant la circulation de l'eau du bassin chaud vers le Chiller pour être refroidie ensuite d'être déversée dans le bassin froid.

- de trois pompes (P2, P3, P4) alimentant respectivement les usines de fabrication (de fûts, de machettes, de brouettes) en eau glacée : Elles aspirent l'eau glacée dans le bassin froid, la refoulent afin de refroidir les procès, ensuite l'eau est recueillie dans le bassin chaud.
- d'un communicateur : il permet de réguler le niveau de l'eau dans les deux bassins
- de deux manomètres installés sur les conduits de départ et de retour de l'eau glacée.

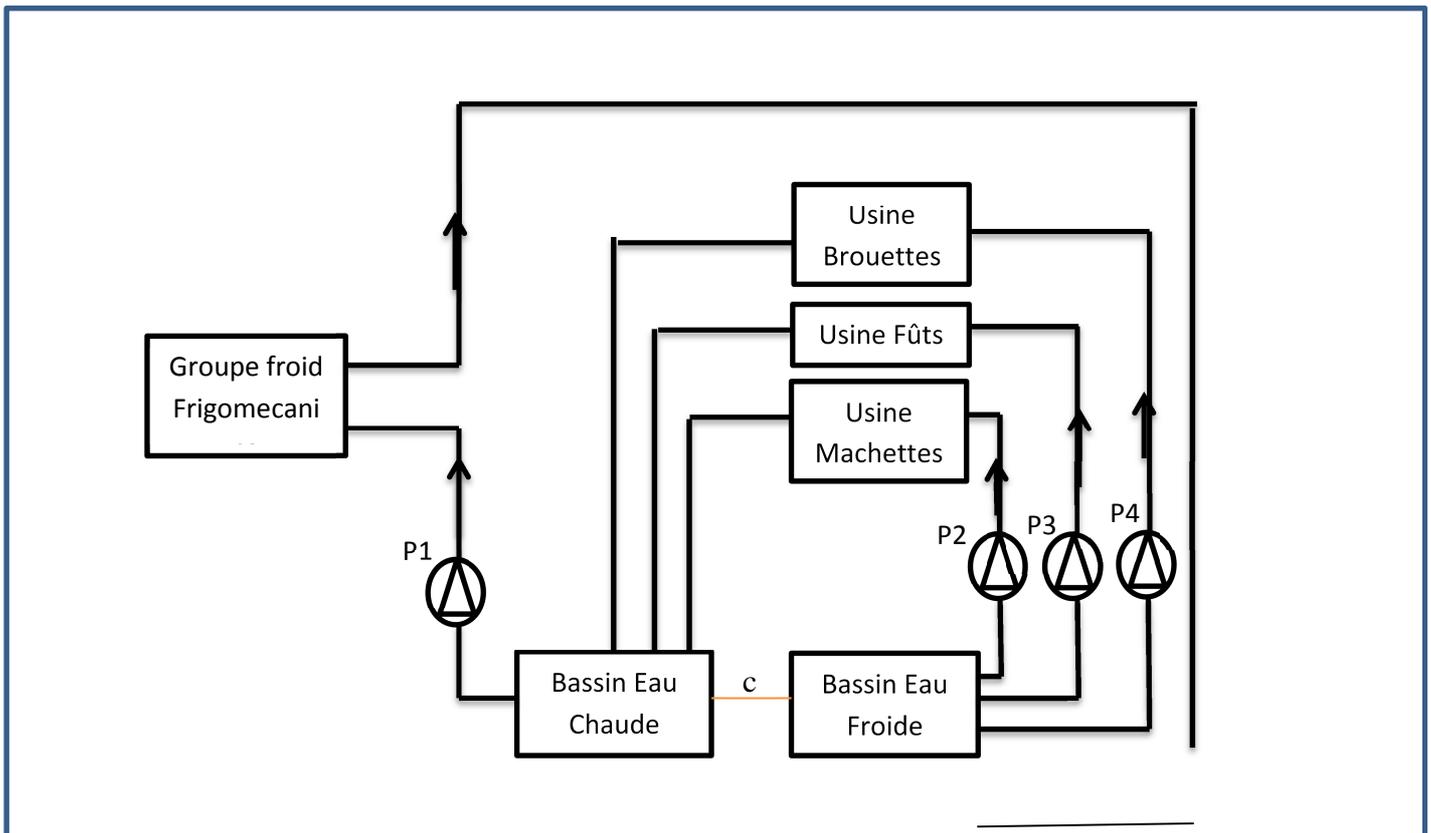


Figure 10 : Schéma explicite du système de refroidissement des procès de fabrication à l'unité B

III.5. CARACTERISTIQUES DES GROUPES DE PRODUCTION(07) D'EAU GLACEE DE LA SOTACI

III.5.1. Inventaire des principaux organes

Cette action consiste à faire l'état des lieux du nombre de circuit frigorifique, de la nature des compresseurs, des détendeurs, des condenseurs de chacun des groupes de production d'eau glacée.

Les cellules colorées en rouge mettent en exergue certaines anomalies existantes, les cellules colorées en orange et en jaune mettent en exergue certaines anomalies en devenir.

Tableau 3: Caractéristiques des principaux organes des différents groupes

Unités de Production	Unité A		Unité B	Unité C			
	Groupe Euro-Klimat	Groupe Carrier	Groupe Frigomecanica	Groupe CIAT	Groupe MTA	Groupe Eurodifroid	Groupe Carrier
Caractéristique							
Nombre de circuits frigorifiques	01	02	02	02	01	01	02
Circuit frigorifique détenteur → chiller → compresseur	Isolation défectueuse	Isolation défectueuse	R.A.S	Isolation défectueuse	Isolation défectueuse	R.A.S	Isolation défectueuse
Nature du détenteur/Circuit	Détendeur Thermostatique	Détendeur Thermostatique.	Détendeur Thermostatique	Détendeur Thermostatique	Détendeur Thermostatique	Détendeur Thermostatique.	Détendeur Thermostatique
Nature de l'évaporateur (du type détente sèche)	Evaporateur noyé	Echangeur à plaques brasées	Evaporateur multitubulaire	Evaporateur multitubulaire	évaporateur noyé	Echangeur à plaques brasées	Echangeur à plaques brasées
Nature du Compresseur	Semi-Hermétique	Semi-Hermétique	Semi-Hermétique	Semi-Hermétique	Hermétique	Hermétique	Hermétique
Nature du Condenseur/Circuit	A air	A air	A air	A air	A air	A air	A air
Nombre de ventilateur/Circuit	02	02	04	03	01	02	01
Nbre de Ventilateurs asservis/ Circuit	02	02	02	03	01	02	01
Etat de la Carrosserie des Groupes dû à la corrosion	Quelques signes de corrosion	Quelques signes de corrosion	R.A.S	En état de dégradation	En état de dégradation très avancé	R.A.S	Quelques signes de corrosion

III.5.2. Inventaire des organes annexes

Nous avons fait l'inventaire des organes annexes des groupes de production d'eau glacée afin de les caractériser. L'inventaire est consigné dans le tableau suivant.

Tableau 4: Caractéristiques des organes annexes des groupes d'eau glacée

Unités de Production	Unité A		Unité B	Unité C			
	Groupe Euro-klimat	Groupe Carrier	Groupe Frigomecanica	Groupe CIAT	Groupe MTA	Groupe Eurodifroid	Groupe Carrier
Caractéristiques							
Existence ou non de Bouteille Liquide/Circuit	Non Existence	Non Existence	Existence	Non existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence
Existence ou non de Piège à Huile/Circuit	Non Existence	Non Existence	Existence	Existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence
Existence ou non de Bouteille Anti-Coups de liquide/Circuit	Non Existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence	Non Existence
Existence ou non de Voyant Liquide/Circuit	Existence	Existence	Non Existence	Non Existence	Existence	Existence	Existence
Existence ou non d'Eliminateur de Vibrations/Circuit	Existence	Existence	Non Existence	Non Existence	Existence	Existence	Existence
Existence ou non de Filtre Déshumidificateur	Existence	Existence	Existence	Existence	Existence	Existence	Existence

III.5.3. Inventaire Circuits Hydrauliques et Bassins d'eau froide/ chaude

Cet inventaire consiste à mettre en exergue les caractéristiques des différents circuits d'eau glacée des groupes de production d'eau glacée. Aussi, il nous permet d'identifier certaines anomalies telles les isolations défectueuses, les absences d'isolation, des bassins d'eau froide exposés au soleil,....etc

Tableau 5: Caractéristiques des circuits hydrauliques et bassins d'eau

Unités de Production Groupes Froids Caractéristiques	Unité A		Unité B	Unité C			
	Groupe CTA	Groupe Carrier	Groupe Frigomecanica	Groupe CIAT	Groupe MTA	Groupe eurodifroid	Groupe Carrier
Circuit Hydraulique Avec/Sans Plaque à Echangeur	Fermé	Fermé	Ouvert sans Plaque à échangeur	Ouvert sans Plaque à échangeur	Fermé avec Plaque à échangeur	Fermé avec Plaque à Echangeur	fermé avec Plaque à échangeur
Nombre de Pompes Hydrauliques	03	04	04	04	02	02	04
Circuits Hydrauliques Isolés/ non isolés	Non isolé	Isolation Défectueuse	Isolé (R.A.S)	Isolation Défectueuse	Non isolé	Non isolé	Isolation défectueuse
Bassins eau froide/ eau chaude (distincts/ confondus)	Distincts avec By-Pass	distincts avec By-Pass	Distincts avec By-Pass	Confondus	Confondus	Confondus	Confondus
Bassins eaux froide et chaude exposés/ non exposés au Soleil	Non exposés	Non exposés	Exposés au soleil	Non exposés	Non exposés	Non exposés	Non exposés

IV. ETUDE DIAGNOSTIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

IV.1. HYGIENE DES SITES ETDES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

IV.1.1. Hygiène des groupes de production d'eau glacée

L'atmosphère est chargée de poussière et de fumée générée par les activités à l'usine, les camions de transport, les fourchettes,...etc : La carrosserie, les ailettes des condenseurs et les filtres anti-poussière de tous les groupes de production d'eau glacée sont recouverts d'une importante couche de mélange de fumée et de poussière.



Figure 11 : Vue du site de la SOTACI

IV.1.2. Hygiène des sites

Les sites abritant les différents groupes de production d'eau glacée sont dans un état de salubrité très dégradé. Il y a au total quatre (04) sites dont :

- Deux (02) sites à l'unité A abritant chacun un (01) groupe de production d'eau glacée.
- Un (01) site à l'unité B abritant un (01) groupe de production d'eau glacée
- Un (01) site à l'unité C abritant quatre (04) groupes de production d'eau glacée

Sur les sites de l'unité A et de l'unité C, on y trouve toute sorte d'ordures telles :

Des emballages de divers genre (cartons, sachets d'omo...), des filtres d'huile hors d'usage, des morceaux de chiffon, des papiers joints, des sachets plastiques, des herbes, de la boue, de l'huile usée, de la rouille, de l'eau usée...etc.



Figure 12 : Rouille et eau usée



Figure 13: Chiffon trempé d'huile

L'eau usée stagne en permanence sur le site à l'unité C. Cette eau provient généralement des **rejets d'eaux usées**, de la **vapeur d'eau** contenue dans l'air ambiant, de **l'eau de pluie**...etc.

IV.1.2.1 La vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant

Tableau 6: Etat physique des isolations des circuits frigorifiques et hydrauliques

Unités de production	Groupe de production de d'eau glacée	Circuits frigorifiques	Chiller	Circuit hydrauliques
Unité A	Groupe Euro-Klimat	Tronçons : Détendeur → Chiller → compresseur <u>Isolation défectueuse</u>		Absence d'isolation
	Groupe Carrier	Tronçons : Détendeur → Chiller → compresseur <u>Isolation défectueuse</u>		Isolation défectueuse
Unité C	Groupe CIAT	Tronçons : Détendeur → Chiller → compresseur <u>Isolation défectueuse</u>	Isolation défectueuse	Isolation défectueuse
	Groupe Carrier			Isolation défectueuse

Toutes ces tuyauteries à isolation défectueuse, ou sans isolation se comportent généralement comme des **batteries froides humides**.

Le principe d'une **batterie froide humide** est de déshumidifier l'air tout en le refroidissant à une température inférieure à celle de son point de rosée. La vapeur d'eau se condense alors sur la surface de la batterie. Q [kgeau/kg air-sec] est le débit de vapeur d'eau condensée au contact de la surface de la batterie.

Un point donné (état d'un air donné) sur le diagramme de l'air humide (voir annexe) est défini par les grandeurs suivantes :

- la température sèche est la température indiquée par un thermomètre ordinaire
- la température humide est la température indiquée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert par une mèche maintenue mouillée et exposée à un courant d'air (°C)
- le point de rosée (température de rosée) est la température à laquelle la vapeur

IV.1.2.2 Les rejets d'eaux usées

Sur les sites A, B, C ; aucune sensibilisation sur l'hygiène n'est faite en vue de les garder propre et sain. Telles des pancartes ou des affiches sur lesquelles on interpelle les uns et les autres à œuvrer pour l'hygiène des sites. En particulier de l'eau usée est déversée en permanence sur le site à l'unité C.

IV.1.2.3 L'eau de pluie

Tous les deux (02) systèmes frigorifiques (groupe Euroklimat, groupe Carrier) des sites à l'unité A sont exposés à la pluie et au Soleil et le groupe Carrier à l'unité C est exposé à la pluie.

Tandis que le groupe CIAT à l'unité C est quasi exposé à la pluie. Cette eau en contact permanent avec l'isolation sans ensoleillement génèrent des moisissures qui dégradent progressivement celle-ci.

IV.2. ANALYSE DE LA DUREE DU CYCLE DE REGULATION DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

Nous avons établi pour chacun des groupes la moyenne des durées de cycle mesurées sur une période de trois jours et à différent moment de la journée (10h, 14h, 17h)

IV.2.1 Observation de la durée de cycle de régulation des groupes de production d'eau glacée

Cette démarche consiste à évaluer la durée des cycles de régulation des différents groupes de production d'eau glacée afin d'identifier d'éventuelles anomalies.

Tableau 7: Caractérisation des durées moyennes des cycles de régulation des groupes d'eau glacée

Unités de production	Unité A	Unité B	Unité C		
Groupes Froids	Groupe Carrier	Groupe Frigomecanica	Groupe CIAT	Groupe Eurodifroid	Groupe MTA
Température de consigne (°C)	12	10	Inconnue	12	Inconnue
Point de (°C) fonctionnement	16	17.5	Inconnue	14	Inconnue
Durée moyenne du cycle de régulation	07min30s	06min30s	Infinie	03min45s	Infinie

IV.2.1.1. La marche continue des groupes

Au vu des résultats consignés dans le tableau, les groupes MTA et CIAT ne régulent pas, ils marchent en continu. Ces deux groupes présentent donc des anomalies :

Une surcharge (la charge frigorifique sollicitée est nettement supérieure à celle dont le groupe est capable de fournir)

- ✓ La mise hors service des PBP
- ✓ Une fuite de FF

En menant nos investigations plus loin, nous avons découvert sur **le groupe CIAT**, la **mise hors service des PBP** (circuit électrique déconnecté), et une **fuite du FF** (observation de bulles d'air sur le voyant liquide) et donc probable présence d'incondensable (air, eau) dans le circuit du **groupe MTA**.

La fuite du FF diminue la puissance frigorifique du groupe et donc le groupe se trouve subitement en surcharge. Ce qui explique sa marche continue.

La marche continue du groupe entraîne généralement un dysfonctionnement du contacteur du compresseur pour cause de formation de rouille sur ses lames.

IV.2.1.2. Courte durée de cycle de régulation

Le groupe Eurodifroid a un cycle de régulation de courte durée dont 2min30s de marche et 1min15s d'arrêt. En moins de quatre (04) min, on a deux (02) enclenchements et un (01) arrêt du compresseur et des deux (02) ventilateurs synonyme de trois mouvements des lames des contacteurs associés.

Ce genre de cycle provoque en général l'usure prématurée des contacteurs du compresseur et des ventilateurs.

IV.3. ANALYSE DU REGIME D'EAU GLACEE DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

Nous avons établi pour chacun des groupes la moyenne des températures mesurées sur une période d'une semaine. Ces mesures de température ont été faites à 14h. A cette heure, il y a un apport externe considérable d'énergie calorifique (rayonnement solaire, conduction et convection). On estime qu'à cette heure, les groupes sont à charge maximale.

IV.3.1 Observation du régime d'eau glacée des différents groupes de production d'eau glacée

Nous avons mesuré les températures de départ et de retour de l'eau glacée avec un thermomètre à laser. Si, à puissance maximale, l'écart est inférieur à 5 K, le débit d'eau peut être réduit (économie électrique + diminution du risque d'érosion).

Tableau 8: Caractéristiques du régime d'eau des groupes d'eau glacée

Unités de production	Unité A	Unité B	Unité C			
Groupes Froids	Groupe Carrier	Groupe Frigomecanica	Groupe MTA	Groupe CIAT	Groupe Eurodifroid	Groupe Carrier
Température de départ (°C) d'eau glacée	11	07.8	17.5	11.2	09.6	07.1
Température de Retour d'eau glacée (°C)	15	16.4	21.4	15.7	11.3	07.2
Ecart de (°C) Température	04	08.6	03.9	4.5	01.7	00.1

La température de départ eau glacée du **groupe MTA** est **élevée (17.5°C) comparativement** à celle du **bassin eau froide/ eau chaude** qui oscille dans l'intervalle [7°C ; 15°C]. **On peut se passer du groupe MTA (en pompant l'eau directement dans le bassin) afin de palier à ses anomalies.**

Aussi on constate que l'écart de température entre la température de départ et la température de retour de l'eau glacée est en général inférieur à 5°C. En particulier les écarts des groupes Eurodifroid et Carrier à l'unité C. On peut donc diminuer le débit d'eau afin d'avoir un écart assez raisonnable. Cette action permet de faire des économies d'énergie tout en évitant l'érosion des tuyauteries.

Puissance des pompes des circuits d'eau glacée.

$P_u(\text{Kw}) = Q(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \Delta P(\text{Pa})$ avec P_u : la puissance utile pour faire tourner la pompe.

$P_{abs}(\text{Kw}) = P_u/\eta$ avec P_{abs} : Puissance électrique absorbée par la pompe, et η (constante) : c'est le rendement de la pompe.

Quand $Q_{min}(\text{m}^3/\text{s})$, on a P_u minimum, et donc P_{abs} minimum.

Quand $Q_{max}(\text{m}^3/\text{s})$, on a P_u maximum, et donc P_{abs} maximum.

En diminuant le débit de ces pompes, on fait **une économie d'énergie ($\Delta P_{eco}(\text{Kw})$)** et on **diminue également le risque d'érosion.** $\Delta P_{eco}(\text{Kw}) = P_{absmax} - P_{absmin}$

IV.4 ANALYSE DES MESURES DE TEMPERATURE DE REFOULEMENT DES FF (R22, R407C) EN SORTIE DU COMPRESSEUR

IV.4.1 Observation des mesures de température de refoulement des FF

Nous avons utilisé un thermomètre à laser pour lire directement la température. Cet exercice s'avère délicat du fait de l'instabilité de la valeur qui s'affiche.

Tableau 9: Caractérisation des températures de refoulement des FF des groupes d'eau glacée

Unités	Unité A		Unité B		Unité C		
Groupes d'eau glacée	Carrier		Frigomeccanica		CIAT	MTA	Eurodifroid
Circuits Frigorifiques	Circuit A	Circuit B	Circuit gauche	Circuit droit	Circuit unique	Circuit unique	Circuit unique
Température de refoulement du FF (°C) en sortie du Compresseur	80.1	H.S	72.3	83	104	[30,88.1]	60
Nature du FF dans le circuit frigorifique	R22	R22	R22	R22	R22	R407C	R407C

Nous avons établi pour chacun des groupes la moyenne des températures mesurées sur une période d'une semaine.

La température de refoulement du FF au niveau du circuit frigorifique du groupe Frigomeccanica (circuit droit) et Carrier (circuit A) est élevée. Et celle du **groupe CIAT** est particulièrement **très élevée**. Il pourrait y avoir des incondensables (air, eau), **source de dégradation rapide de l'huile de lubrification**.

La température de refoulement du FF au niveau du groupe MTA est **très instable, fluctuant ainsi entre [30 °C ; 80.1°C]**. Ce qui signifie qu'il y a un manque très prononcé de FF (présence d'une ou des fuite(s) sur le circuit). Aussi il y a une probable présence d'air dans le circuit frigorifique.

IV.5 ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LE FLUIDE REFROIDISSANT ET LE CONDENSEUR

Nous avons utilisé le manifold. On le connecte au circuit frigorifique haute pression par l'intermédiaire d'un orifice établi à cet effet. Ensuite on lit directement la température.

IV.5.1 Observation de la mesure de l'écart de température (Tcond-Tair)

Tableau 10: Caractérisation des écarts de température de condensation

Unités	Unité A	Unité B		Unité C		
Groupes d'eau glacée	Carrier	Frigomeccanica		CIAT	MTA	Eurodifroid
Circuits Frigorifiques	Circuit A	Circuit Gauche	Circuit Droit	Circuit unique	Circuit Unique	Circuit unique
Température de l'air (°C)	30					
Température de (°C) condensation	41	48	45	66	30	50
Ecart de température (°C)	11	18	15	36	00	20

L'écart entre la température de condensation du groupe CIAT et la température de l'air à l'entrée est très élevé, dépassant ainsi la norme de 15 à 20°C à pleine charge pour un condenseur à air. Ce qui signifie qu'il y a un entartage très prononcé du condenseur.

La poussière, les feuilles mortes, et autres déchets sur la batterie du condenseur diminue les qualités d'échange thermique, ce qui entraîne une diminution de la puissance frigorifique et une augmentation de la puissance électrique absorbée

Une augmentation de 1°C de cet écart entraîne 3% de consommation en plus.

Pour le condenseur du groupe CIAT, on a une augmentation de 16°C de cet écart.

Ce qui entraîne **une consommation de 48% en plus.**

L'écart de température de condensation du **groupe MTA** et la température de l'air à l'entrée **est nulle**. C'est donc dire que le condenseur se met à la température extérieure : **il y a fuite de FF et présence d'incondensables dans le circuit (air).**

IV.6. ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LA TEMPERATURE T°

(Évaporation) ET LA TEMPERATURE T°eau SORTIE EVAPORATEUR.

Pour mesurer les différentes températures, nous avons utilisé le thermomètre à laser.

Nous avons établi pour chacun des groupes la moyenne des températures mesurées sur une période d'une semaine.

IV.6.1 Observation des écarts de température

Nous avons utilisé un manifold pour mesurer la température au niveau de l'évaporateur des groupes de production d'eau glacée.

Tableau 11: Caractérisation des écarts entre température évaporateur et celle de l'eau sortie évaporateur

Unités	Unité A		Unité B		Unité C		
Groupes d'eau glacée	Carrier		Frigomeccanica		CIAT	MTA	Eurodifroid
Circuits Frigorifiques	Circuit A	Circuit B	Circuit gauche	Circuit droit	Circuit unique	Circuit unique	Circuit unique
Température Evaporateur (°C)	-01	H.S	03	02.5	04	-18	00
Température Eau sortie Evaporateur (°C)	11	HS	08.2	08.2	07.8	18	09.6
Ecart de Température (°C)	12	HS	05.2	05.7	03.8	36	09.6

Les températures évaluées respectivement à l'évaporateur du groupe Carrier à l'unité A et à l'évaporateur du groupe MTA à l'unité C sont très basses.

L'écart entre la Température évaporateur et la Température eau sortie évaporateur du **groupe MTA** est très élevé. Il y a donc encrassement du Chiller, ce qui entraîne une chute de son rendement. Il y a un risque très probable de gel du Chiller.

Il est aussi possible que la baisse de température de fonctionnement de l'évaporateur soit la conséquence d'une réduction de la surface d'échange de l'évaporateur (par exemple, en bouchant des tubes qui auraient éclaté sous l'effet du gel, suite à un fonctionnement de la machine frigorifique avec une irrigation en eau insuffisante).

IV.7. ANALYSE DE L'ECART DE TEMPERATURE ENTRE LA TEMPERATURE EVAPORATION(BP) ET LA TEMPERATURE ASPIRATION A L'ENTREE DU COMPRESSEUR

Nous avons établi pour chacun des sites la moyenne des températures mesurées sur une période d'une semaine.

IV.7.1 Observation des écarts de température entre les températures évaporation et aspiration

On mesure la température évaporateur à l'aide d'un manifold qu'on connecte au circuit basse pression par l'intermédiaire d'un orifice établi à cet effet.

Si l'écart entre T° évaporation et la T° eau sortie évaporateur > 6 à 7 K, il y a encrassement et donc chute de rendement. Si l'écart subsiste après le nettoyage (en général, un détartrage à l'acide), il faut envisager l'extension de la surface de l'évaporateur.

Il faut ici particulièrement faire attention au risque de gel de l'évaporateur. En principe, il existe un thermostat de sécurité antigel sur la sortie de l'évaporateur. Si la température descend sous les 3°C, la machine est mise à l'arrêt.

Tableau 12: Caractérisation de la surchauffe des groupes d'eau glacée

Unités	Unité A		Unité B		Unité C		
Groupes d'eau glacée	Carrier		Frigomeccanica		CIAT	MTA	Eurodifroid
Circuits Frigorifiques	Circuit A	Circuit B	Circuit gauche	Circuit droit	Circuit unique	Circuit unique	Circuit unique
Température Evaporateur (°C)	-01	H.S	03	02.5	04	-18	00
Température A l'entrée du Compresseur (°C)	13	HS	14	14.5	08.5	10	08
Ecart de Température (°C)	14	HS	11	12	04.5	28	08.

On constate que l'écart de Température entre la Température évaporation et la Température aspiration à l'entrée du compresseur au niveau du **groupe MTA** est très élevé. Une surchauffe trop forte entraîne **une usure prématurée des compresseurs** par élévation de leur Température de refoulement. Il faut suivre de près la surchauffe du FF au niveau du groupe Carrier.

V. BILAN DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE DES GROUPES D'EAU GLACEE ET DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE

V.1 BILAN DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE DES GROUPES D'EAU GLACEE

V.1.1 Hygiène des groupes et des sites les abritant

On constate une indifférence très prononcée à l'égard de l'hygiène des groupes et des sites les abritant. Cette indifférence se matérialise par :

-La présence d'ordures de tout genre sur ces sites (Des emballages de divers genre (cartons, sachets d'Omo....), des filtres d'huile hors d'usage, des morceaux de chiffon, des papiers joints, des sachets plastiques, des herbes, de la boue, de l'huile usée, de la rouille, de l'eau usée...etc.) et l'encrassement des condenseurs, des filtres anti-poussière, de la carrosserie des groupes par la poussière.

Conséquences :

- Diminution du débit d'air, ainsi que les qualités d'échange thermique. Ce qui entraîne en définitif une **baisse de la puissance frigorifique**, et une **augmentation de la puissance absorbée**.
 - La carrosserie des groupes (MTA, CIAT) est dans un état de dégradation très avancé.
- **La durée du cycle de régulation** du groupe Eurodifroid est **courte**. Elle provoque l'usure du contacteur (une défaillance électrique). Cette défaillance a des conséquences néfastes sur le compresseur tel en **grillant la bobine de son moteur**.
- **Les cycles de régulation** des groupes (CIAT, MTA) sont à **durée infinie**. Ces groupes présentent les symptômes d'un groupe en surcharge, d'une fuite de FF au niveau du circuit frigorifique, d'un encrassement du condenseur, d'un entartage du chiller. La surcharge est à l'origine de défaillance mécanique des compresseurs, telle l'usure prématurée des segments, des bielles, des pistons...etc.
- **Les modes de défaillance mécanique en fonctionnement** : il s'agit de plusieurs types de défaillances mécaniques. Elles apparaissent suite à un choc, à une surcharge, à une fatigue mécanique ou thermique, à un fluage, à l'usure, à l'abrasion, à l'érosion ou à la corrosion.
 - **Les modes de défaillances électriques** : ces défaillances surgissent suite à une rupture d'une liaison électrique, au collage, à l'usure de contact, ou au claquage d'un composant.

V.2. BILAN EFFICACITE ENERGETIQUE

V.2.1 Pertes de frigorifiques en ligne



Figure 1410 : circuit eau glacée exposé au soleil

Figure 1511 : Bassins d'eau froide exposés au soleil

Sur ces deux figures, on observe des circuits à isolation défectueuse et des bassins d'eau froide exposés au soleil. Ces systèmes ci-dessus sont exposés aux trois modes d'échange thermique dont :

- Le mode de transfert par **conduction**

- Le mode de transfert par **convection**
- Le mode de transfert par **rayonnement**

Conduction : C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \text{grad}(T)$$

Ou sous forme algébrique

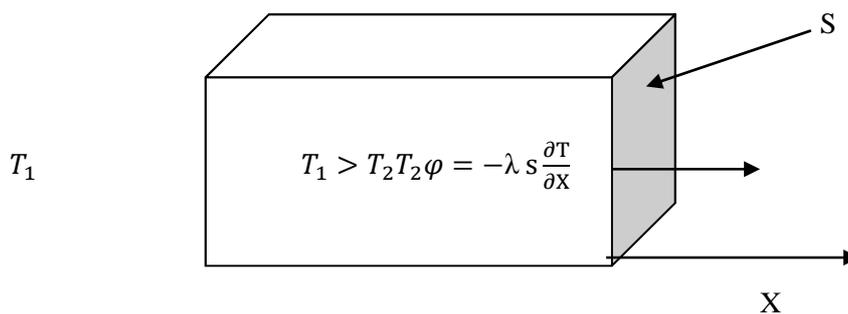
$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial X} \quad (\text{W})$$

Avec : φ Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ Conductivité thermique du milieu ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$)

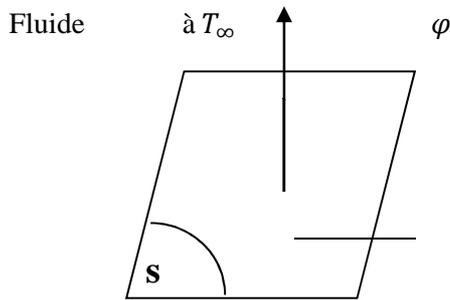
X Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)



Convection : C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par un déplacement du fluide de mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\varphi = hS(T_s - T_\infty)$$



Avec :

φ Flux de chaleur transmis par convection

h coefficient de transfert de chaleur par convection

T_s Température de surface du solide

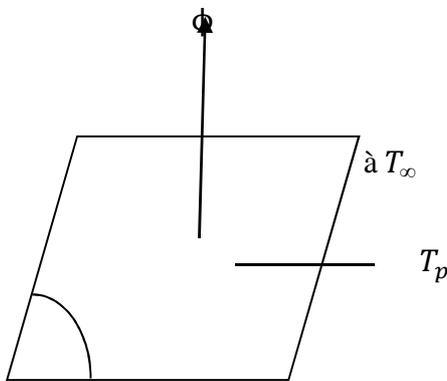
T_∞ Température du fluide loin de la surface du solide

S Aire de la surface de contact solide/fluide

REMARQUE : la valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométrique de la surface de contact solide/fluide

Rayonnement : C'est un transfert d'énergie électromagnétisme entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

Milieu environnant :



$$\varphi = \sigma \varepsilon_p S(T_p^4 - T_\infty^4) \quad (\text{W})$$

φ Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ Constante de Stephan (5,67.10⁻⁸W m⁻²K⁻⁴)

ε_p Facteur d'émission de surface (K)

T_p Température de la surface (K)

T_∞ Température du milieu environnant la surface (K)

S Aire de la surface (m²)

Cylindre creux long (conduit)

C'est le cas pratique d'un tube recouvert d'une ou plusieurs couches de matériaux différents et/ ou on ne connaît que les températures T_{f1} et T_{f2} des fluides et les faces internes et externe :

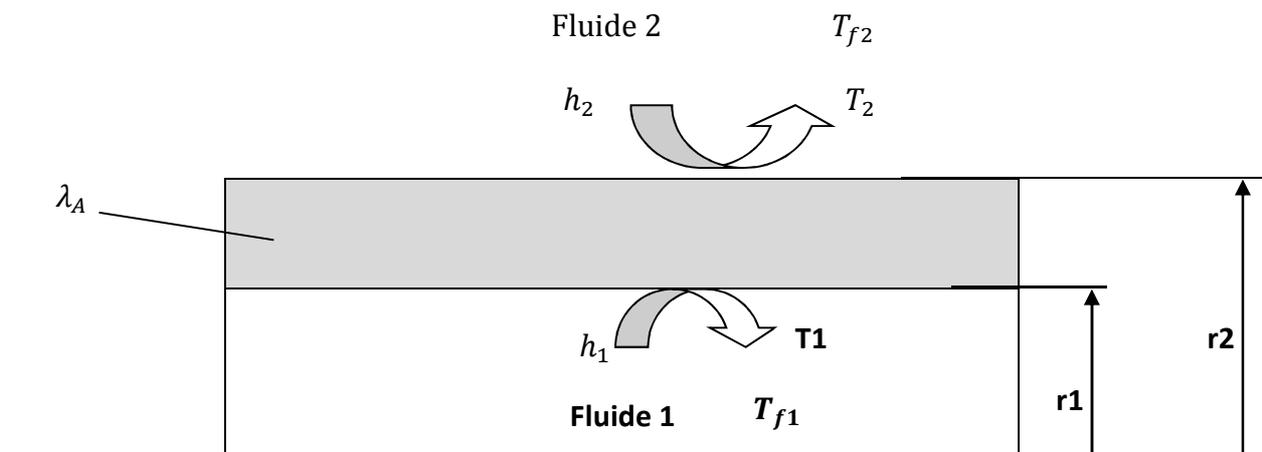
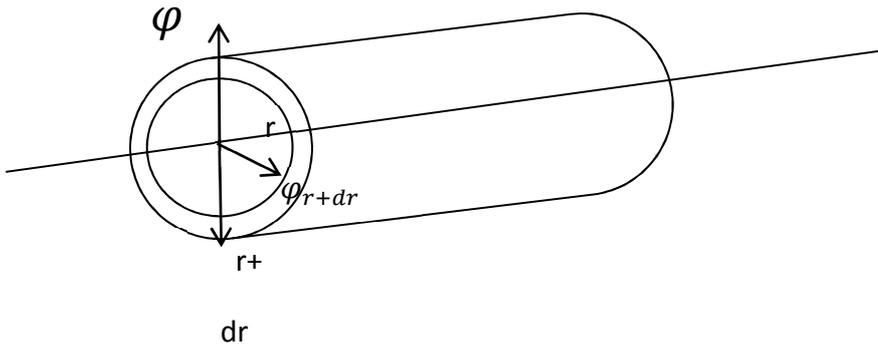


Schéma de la coupe longitudinale d'un conduit

En régime permanent, le flux de chaleur ϕ se conserve lors de la traversée des différentes couches et s'écrit :

$$\phi = h_1 2\pi r_1 l (T_{f1} - T_1) = \frac{2\pi \lambda_A l (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = h_2 2\pi l (T_2 - T_{f2})$$

D'où :

$$\phi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 2\pi r_1 l} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \lambda_A l} + \frac{1}{h_2 2\pi r_2 l}} \quad (\text{w. m}^{-1})$$

V.2.2 Energie électrique

Pour le volet électrique, il faut dire que des mesures compensatoires ont été prises. Celles-ci consistent à monter des batteries de condensateurs sur le départ général du courant alimentant ces groupes de production. Cependant, nous avons décelé trois anomalies au niveau de la consommation électrique des groupes de production d'eau glacée et des motopompes dont :

- Une augmentation de 1°C de l'écart entre la température au niveau du condenseur et la température de l'air ambiant entraîne 3% de consommation en plus (source : www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11055.htm du 10/04 /2012)

Pour le condenseur du groupe CIAT, on a une augmentation de 16°C de cet écart.

Ce qui entraîne **une consommation de 48% en plus.**

- En particulier, les écarts de température au niveau du régime d'eau glacée des groupes **Eurodifroid** et **Carrier** à l'unité C sont **très faibles.**

En diminuant le débit de ces pompes, on fait **une économie d'énergie électrique ($\Delta P_{eco}(Kw)$)** et on **diminue également le risque d'érosion.** $\Delta P_{eco}(Kw) = P_{absmax} - P_{absmin}$

- La température de départ de l'eau glacée du groupe MTA est élevée (17.5°C)
Sur le site l'abritant, le bassin d'eau froide a une température qui oscille dans l'intervalle [7°C ; 15°C]

On pourrait donc pomper directement l'eau froide dans le bassin d'eau et se passer du groupe.

- Une augmentation du sous-refroidissement augmente la puissance frigorifique de la machine frigorifique et son efficacité énergétique. Le travail compresseur reste en effet constant alors que la plage d'évaporation s'accroît. Concrètement, pour une situation type donnée, on a observé 0,8% d'accroissement du COP par degré d'augmentation du sous-refroidissement pour du R-22 et 1%/K pour du R-134a (source : "Le froid efficace dans l'industrie"- Ademe-France).

Si une faible valeur est rencontrée, c'est l'indication : soit d'un manque de fluide frigorigène (fuite).

Soit d'un encrassement du condenseur (mauvaise condensation, donc peu de liquide ?).

VI. RECOMMANDATIONS

Après nos investigations, il en est ressorti de nombreuses conclusions que nous avons eu le temps de présenter progressivement dans les pages qui précèdent.

Afin de contribuer véritablement à la pérennité, à la disponibilité et à l'efficacité énergétique des systèmes de production d'eau glacée de l'entreprise SOTACI, nous proposons un certain nombre de recommandations que sont :

R.1 : Etablir et exécuter à la lettre un planning hebdomadaire pour l'entretien au quotidien des groupes de production d'eau glacée

Tableau 13: Planning hebdomadaire pour l'entretien des groupes d'eau glacée

Unités de production	Groupes de production d'eau glacée	Jours d'entretien	Horaires d'entretien	Types d'entretiens
Unité A	Groupe CTA	Du Lundi Au	8h 00 _ 8h 30	- nettoyer les filtres anti-poussière avec de la mousse et de l'eau savonneuse, ou avec de l'air/eau comprimée à basse pression - nettoyer les condenseurs à air avec de l'air/eau comprimé à basse pression - nettoyer la carrosserie du groupe avec de l'eau savonneuse à l'aide d'une serpillière / mousse - nettoyer les échangeurs à plaques avec de l'eau savonneuse à l'aide d'une serpillière/avec de l'air comprimé. - nettoyer les pompes des circuits d'eau glacée avec une serpillière et de l'eau savonneuse - éponger l'eau de condensats, l'eau usée, l'eau de pluie - balayer le site/enlever les herbes.
	Groupe Carrier		8h 30 _ 9h 00	
Unité B	Groupe FrigomecAnica	Vendredi	9h 00 _ 10h 00	
Unité C	Groupe Carrier		10h 00 _ 10h 30	
	Groupe CIAT		10h 30 _ 11h 00	
	Groupe Eurodifroid		11h 00 _ 11h 30	
	Groupe MTA		11h 30 _ 12h 00	

- Cette recommandation est d'autant plus importante qu'elle permettra d'endiguer nettement la dégradation de la carrosserie du groupe dû à la corrosion, et de permettre une meilleure condensation du fluide frigorigène pour un meilleur rendement du groupe.

R.2 : Procéder dans l'immédiat, à l'isolation du Chiller du groupe CIAT, des circuits frigorifiques (Détendeur→Chiller→Compresseur), du bulbe des détendeurs thermostatiques des groupes de production d'eau glacée à l'unité A (groupe Carrier, groupe Euroklimat) et à l'unité C (Groupe CIAT) ;

- Elle intervient dans la mesure où sa mise en application permettra d'améliorer considérablement la température du fluide frigorigène à l'aspiration par le compresseur entraînant ainsi un bon rendement frigorifique du groupe et d'éradiquer le condensât (source de corrosion de la carrosserie des groupes).

R.3 : Procéder dans l'immédiat, à l'isolation des circuits d'eau glacée des groupes froids de l'unité A (Groupe Euroklimat, Groupe Carrier) et l'unité C (Groupe CIAT, Groupe MTA, Groupe Eurodifroid, Groupe Carrier) ;

- Elle intervient dans la mesure où sa mise en application permettra d'atténuer considérablement les pertes frigorifiques et d'éradiquer le condensât (source de corrosion des tuyauteries des circuits d'eau glacée).

R.4 : Protéger les systèmes de production d'eau glacée des deux sites à l'unité A (groupe EuroKlimat, Groupe Carrier) du soleil et de la pluie en construisant des abris à cet effet, aussi à l'unité C en prolongeant la toiture de deux (02) mètres et en construisant un mur.

- Cette mesure nous permettra d'atténuer les pertes frigorifiques, d'endiguer la dégradation de la carrosserie du groupe dû à la corrosion, d'empêcher la dégradation éventuelle de l'isolation des circuits d'eau froid (vapeur d'eau), des chillers, des circuits frigorifiques ; d'empêcher l'eau de pluie de stagner sur le site.

R.5 : Mettre en place des pancartes de sensibilisation à l'hygiène sur lesquelles on notera :- Rendons ce site propre, -Interdit de jeter des ordures ici, -Interdit de verser de l'eau usée, de l'huile usée sur le site...etc.

- Cette mesure qui devra couvrir les deux sites de l'unité A et le site de l'unité C permettra de réduire considérablement l'insalubrité sur ces sites.

R.6 : Evaluer trimestriellement l'écart de température entre la température de départ et de retour de l'eau glacée

- L'application de cette recommandation nous permettra dans la mesure du possible de faire des économies d'énergie et une diminution du risque d'érosion selon que l'écart est inférieur à 5K.

R.7 : Evaluer trimestriellement l'écart de température entre le condenseur et le fluide refroidissant

- Cette mesure devrait-nous permettre de réduire au maximum les tartes au niveau des condenseurs ou d'augmenter la surface du condenseur.

R.8 : Evaluer trimestriellement l'écart de température entre la température d'évaporation (BP), et température d'aspiration à l'entrée du compresseur ;

- Cela permet d'évaluer la qualité de surchauffe à savoir si elle est trop faible : risque de coup de liquide, si elle est trop forte : usure prématurée des compresseurs par élévation de la température de refoulement.

R.9 : Evaluer trimestriellement la température du FF à la sortie du compresseur ;

- Cela permet d'évaluer la qualité de l'huile. Si la température est très élevée il y a risque de dégrader l'huile.

R.10 : Evaluer trimestriellement le degré d'encrassement de l'évaporateur et donc la chute de son rendement;

- Cela permet de réduire les tartes au niveau du Chiller.

R.11 : Evaluer trimestriellement l'écart de température entre la mesure de température ligne liquide ($T^{\circ}\text{liq}$), à l'entrée du détendeur et la Température de condensation $T^{\circ}(\text{HP})$;

- Cela permet d'indiquer s'il y a un manque de FF (fuite) ou un encrassement du condenseur (mauvaise condensation, donc peu de liquide) ;

R.12 : Suivre mensuellement les ventilateurs des différents groupes suivant la fiche établie à cet effet (voir à l'annexe) ;

- L'observation de cette recommandation nous permettra de suivre l'état des ventilateurs afin de palier à certaines anomalies telles : Connexions mal serrées, calibres des disjoncteurs mal réglés,...etc ou procéder à une substitution dans le cas échéant.

R.13 : Suivre trimestriellement les compresseurs des différents groupes suivant la fiche établie à cet effet (voir à l'annexe).

-L'observation de cette recommandation nous permettra de suivre rigoureusement l'état de fonctionnement des compresseurs afin de palier à certaines anomalies telles : Connexions mal serrées, calibres des disjoncteurs mal réglés,...etc.

VII. CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons pu identifier deux principaux modes de défaillances dont :

-Les modes de défaillance mécanique en fonctionnement : il s'agit de plusieurs types de défaillances mécaniques. Elles apparaissent suite à un choc, à une surcharge, à une fatigue mécanique ou thermique, à un fluage, à l'usure, à l'abrasion, à l'érosion ou à la corrosion.

-Les modes de défaillances électriques : ces défaillances surgissent suite à une rupture d'une liaison électrique, au collage, à l'usure de contact, ou au claquage d'un composant.

Il en ressort que la réduction de ces défaillances sur les différents systèmes de production d'eau glacée, contribue largement à la satisfaction de façon convenable de la demande en frigories. Nous espérons par ailleurs que les résultats élaborés aideront l'entreprise 2EP qui a en charge la maintenance de ces systèmes, à mieux axer ses interventions actuelles et futures. La SOTACI possède des groupes de production d'eau glacée dont la majorité présente d'importantes anomalies. Cela se justifie par les écarts de températures observés lors des différents diagnostics posés par rapport aux références. Par ailleurs, les diagnostics posés nous ont permis de savoir que le système de production d'eau glacée dans sa globalité (le circuit frigorifique et ses principaux organes : Compresseur, Condenseur, Détendeur, Chiller ; Le circuit hydraulique : pompes et tuyauteries), l'adéquation entre les besoins frigorifiques et la disponibilité des groupes de production d'eau glacée n'étaient pas irréprochables. Cependant, l'observation des recommandations faites devrait renforcer la performance des systèmes de production d'eau glacée, nous permettre d'atteindre les objectifs en termes de pérennité, de disponibilité et de réaliser une économie d'énergie considérable en vue d'améliorer le chiffre d'affaire de l'entreprise SOTACI.

Ce stage nous a été très bénéfique d'autant plus qu'il nous a permis de mettre en pratique nos connaissances théoriques, de nous confronter aux difficultés du terrain mais également d'acquérir de

nouvelles connaissances dans le domaine de la maintenance d'un système de production d'eau glacée. Aussi nous avons pu développer notre capacité d'analyse et de synthèse mais aussi et surtout l'organisation personnelle.

BIBLIOGRAPHIE

1. Yves JEANOT. Transfert et échangeur de chaleur. 2iE, 120p;
 2. Yezoumah COULIBALY. 2iE. Thermodynamique Classique et Appliquée. 2iE
 3. Didier LECOMTE. 2010-2011, AIR HUMIDE. 2iE, 24p
 4. Francis SEMPORE. Techniques Frigorifiques, Octobre 2006, 200p ;
 5. Hédi Kaffel. 2001. Thèse : LA MAINTENANCE DISTRIBUEE : Concept, Evaluation, et Mise en œuvre 178p ;
 6. Yezoumah COULIBALY. EFFICACITE ENERGETIQUE. 2iE : Economies d'énergie dans le bâtiment et dans l'industrie 2010. 97p
- SITE : www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11055.htm. La maintenance de l'installation frigorifique, 10/ 04/ 2012, 12p.

ANNEXES

ANNEXE1 :SUIVI TRIMESTRIEL DU COMPRESSEUR.....DU GROUPE.....DE L'UNITE

Prise de mesure de température et de Pression du Compresseur en marche

Températures (°C)		Pressions (bar)	
Température haute Pression		Haute Pression	
Température basse Pression		Basse Pression	

Prise de mesure de température et de Pression du Compresseur à l'arrêt

Températures (°C)		Pressions (bar)	
Température haute Pression		Haute Pression	
Température basse Pression		Basse Pression	

Prise de mesure des intensités par phase des petits enroulements du compresseur

Intensité par phase des petits enroulements	
I1 =	.....
I2 =	.....
I3 =	.....

Prise de mesure des intensités par phase des grands enroulements du compresseur

Intensité par phase des grands enroulements	
I1 =	.....
I2 =	.....
I3 =	.....

Vérifications: chute de tension prolongée, sursension, mauvais réglage des sécurités, connexions électriques mal serrées

Caractéristiques	Qualités
Connexions électriques
Réglage des sécurités (calibres des disjoncteurs, ...etc.)
Surtension

Chute de tension	....................

Qualité de la sonorisation acoustique (normal/ anormal) :.....

Présence ou non d'humidité dans le bornier du moto compresseur :.....

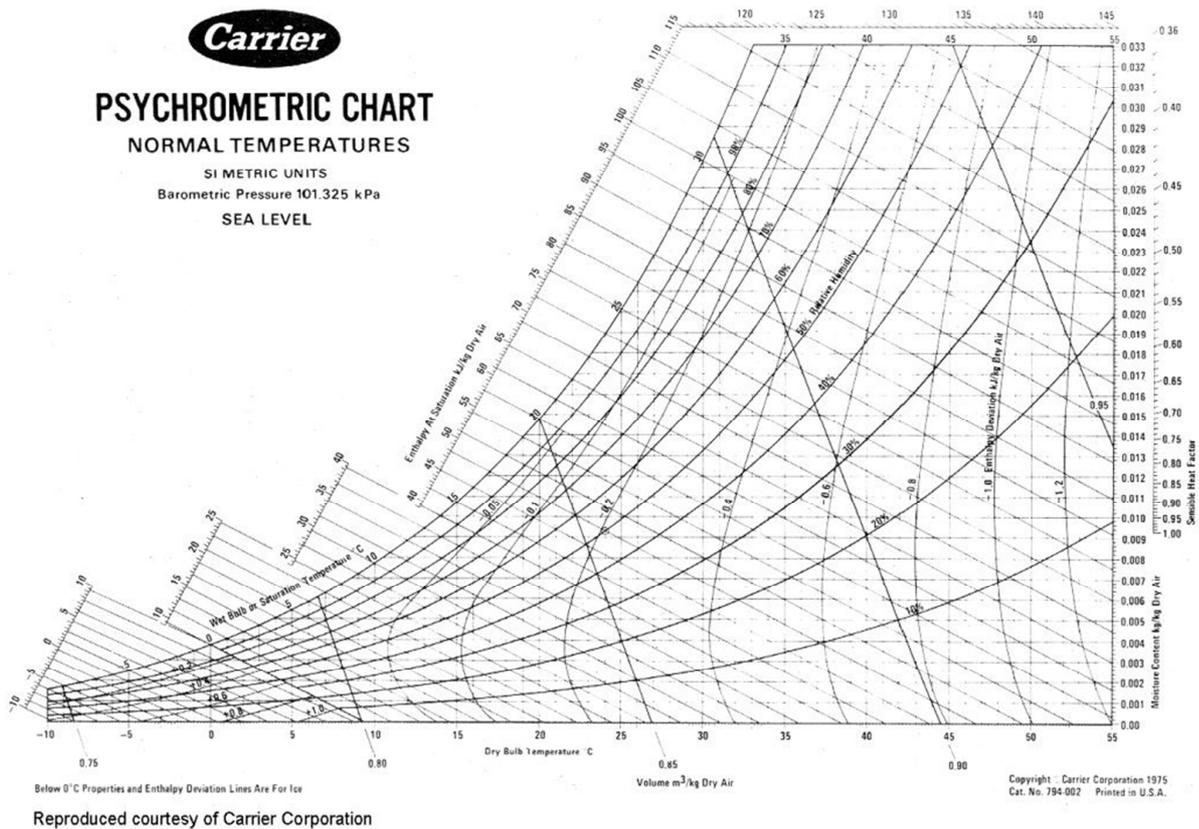
**ANNEXE 2 : SUIVI MENSUEL DES VENTILATEURS DUGROUPE.....DE
 PRODUCTION D'EAU GLACEE DE L'UNITE.....entre 13h00 et 15h00.**

Mois

Ventilateur.....

	Nombre de Tour/min	Nombre de Phase	Tension (V)	Intensité (A)	Puissance(W)
CARACTERISTIQUES DU VENTILATEUR	.....	.....	U=..... ...	I=.....	P=.....
ETAT DE FONCTIONNEMENT (A L'ARRET/ EN MARCHE)	..... .....			
DEFAULT SIGNALE (OUI/ NON)	..... .....			
TEMPERATURE DE L'AIR AMBIANT (°C) ASPIRE PAR LE VENTILATEUR	..... .....			
TEMPERATURE DE L'AIR REFOULE (°C) PAR LE VENTILATEUR	..... .....			
INTENSITE/Phase	I1=..... I2=..... I3=				
TENSION entre Phase	U1= U2=..... U3=.....				
COUPLAGE	..... .....			

ANNEXE 3 : DIAGRAMME PSYCHOMETRIQUE



ANNEXE 4: Terme de référence de l'étude

Termes de référence pour mémoire de fin d'étude de Master 2012

Thème : Mise en place d'une politique de maintenance des groupes de production d'eau glacée de l'entreprise SOTACI.

Contexte :

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises subissent de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers deviennent de plus en plus exigeants et demandent en outre des produits et des services de bonnes qualités à moindre coût livrés rapidement au bon moment. Pour satisfaire la demande en qualité, en quantité tout en respectant les délais de livraison et les coûts, les entreprises doivent disposer d'un outil de production fiable donc bien entretenu.

Le maintien de ces systèmes de production en état ou leur maintenance est l'aboutissement en partie d'un travail d'entretien d'envergure en amont. Les concepts de la maintenance définissent des façons de faire pour maximiser la performance globale de l'entreprise.

La mise en œuvre de ces concepts exige des ressources humaines compétentes, des outils et du matériel adapté aux équipements et aux installations à entretenir.

Les entreprises d'envergure internationale en générale manifestent beaucoup d'intérêts quant à la maintenance de leur système de production.

Ainsi la Société de fabrication des Tubes d'Acier et d'Aluminium de Côte d'Ivoire (SOTACI) leader en Afrique de l'ouest n'évolue pas en marge de cette réalité. Les activités liées à la fabrication de tubes d'acier et d'aluminium, de machettes, de gence de motos et vélos, de grillage, de fer à béton etc..., génèrent l'émission d'énergie thermique. La production de celle-ci, à un taux relativement élevé, dégrade les pièces constitutives de ces machines de production. La dégradation, voir la destruction de ces machines affecte ou favorise l'arrêt des procès de fabrication, perturbant ainsi le respect des délais de livraisons des commandes en attentes. Le non-respect pourrait aussi engendrer des pénalités pour l'entreprise SOTACI. Cependant le refroidissement de ces systèmes de production est indispensable pour le bon fonctionnement de l'entreprise. Ainsi les refroidisseurs à eau glacée paraissent comme des organes vitaux dans la vie de l'entreprise. A cela s'ajoute le fait que la SOTACI est certifiée à la norme de qualité ISO 9001 version 2008, aussi elle s'est engagée à la norme de l'environnement ISO 14001.

L'Entreprise d'Etude et de Prestations de service (2EP) est une entreprise spécialisée dans les domaines de l'énergétique notamment le froid, la climatisation, le thermique industriel et l'électricité. Dans l'exercice de ses fonctions, elle accompagne les entreprises dans la réalisation des travaux neufs et des travaux de maintenance.

C'est à cet effet qu'elle assure la maintenance en général de l'entreprise SOTACI. En vue de se conformer aux exigences des normes de qualité et de l'environnement auxquelles la SOTACI est soumise, l'entreprise 2EP prestataire et fournisseur de l'entreprise SOTACI vise à mettre en place une politique de maintenance des groupes de production d'eau glacée dont elle a en charge. Cependant l'arrêt brusque prolongé et intempestif des groupes de production d'eau glacée impacte directement et négativement sur la production. Il est question d'étudier l'adéquation entre la disponibilité des groupes d'eau glacée, leur efficacité énergétique et les objectifs de production optimale de la SOTACI.

On pose dans un premier temps un diagnostic des 7 groupes de production d'eau glacée. Ensuite on fait le bilan de l'étude diagnostique et d'efficacité énergétique de tous les groupes de production d'eau glacée et de leurs annexes. De cela découleront des recommandations dans l'objectif de les rendre au mieux disponibles et pérennes.

Approche Méthodologique et Outils nécessaires

L'approche méthodologique a consisté en :

- Une analyse du récapitulatif des interventions sur les groupes durant les deux dernières années ;
- Des entretiens avec les intervenants.
- Des diagnostics des systèmes existants (Groupe de production de froid) ;

En vue d'effectuer une bonne étude diagnostique, certaines activités chacune basée sur une méthode et utilisant des outils différents ont été menées.

Résultats attendus

- Un rapport final faisant la synthèse et l'analyse des investigations est produit sous forme de rapport.

Encadrement et conditions de stage

Apport de la 2EP

- facilitation du séjour (déplacement des stagiaires, etc.).

Apport de la SOTACI

- facilitation des contacts avec les personnes et structures (unités de production) utiles au niveau local

- mise à disposition des fiches des différentes interventions sur les groupes de production de froid ainsi que toutes informations utiles à l'accomplissement du stage.

Apport du 2iE

- supervision techniques du travail ;
- édition des rapports sous forme numérique ;

Période de réalisation de l'étude : 03 mars au 31 mai 2011

Candidat : AMANI Yao Kablan Amangoua François

Encadreurs : Francis SEMPORE (2iE)

KOFFI Guy Noël (2EP)

