

MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE DU SYSTEME DE CLIMATISATION A EAU GLACEE DU SIEGE DE LA BEAC DE BRAZZAVILLE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE ELECTRIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 28 Juin 2016 par

Lucilaine Bénédith NGANTSUI

Encadreur pédagogique

Sayon dit Sadio SIDIBE
Enseignant- chercheur, 2iE

Maitre de stage

Bienvenu MOUKOUAMOU
Responsable maintenance
BOUYGUES E&S Congo

Jury d'évaluation du stage :

Président : Souleymane BARRO

Membres et correcteurs : Sayon dit Sadio SIDIBE
Eric Serge KENDA

Promotion [2015/2016]



CITATION

*« La connaissance s'acquiert par l'expérience, tout le reste n'est que de l'information. Une personne qui n'a jamais commis d'erreurs n'a jamais tenté d'innover », **Albert Einstein***

DEDICACES

A mes chers parents
pour leur soutien moral et financier pour mes études.

A mes sœurs et à mes frères
en leur souhaitant la réussite dans leurs études et dans leur vie.

A tous mes ami (e)s
en leur souhaitant le succès dans leur vie aussi bien
professionnelle que familiale,

A tous ceux qui m'ont aidé
afin de réaliser ce travail,
à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, je voudrais témoigner ma gratitude à tous ceux de près ou de loin m'ont apporté leur soutien. Je remercie :

- L'Etat du CONGO Brazzaville, pour cette bourse d'études qui a pris en charge mon cycle de Master et a permis que ce rêve soit possible ;
- Monsieur **Claude MOYEN**, Directeur des Affaires Financières (DAF) du Ministère de l'Enseignement Supérieur du Congo pour son soutien;
- Mon Directeur de mémoire, Docteur **Sayon dit Sadio SIDIBE**, Enseignant-chercheur (froid et climatisation) pour sa disponibilité malgré ses multiples occupations, pour ses précieux conseils et l'encadrement de qualité dont j'ai bénéficié ;
- Madame **Ninelle NSILOULOU**, Directrice des Ressources Humaines (DRH) de Bouygues E&S Congo d'avoir donné un avis favorable à mon stage.
- Monsieur **Bienvenu MOUKOUAMOU**, Responsable maintenance pour ses remarques constructives, ses conseils et le suivi de ce mémoire ;
- Professeur **Yézouma COULIBALY**, Conseiller Scientifique du Directeur Général et Co-Directeur du centre commun 2IE-Penn state pour ses remarques ;
- Ma maman **Emilienne MBANI**, qui n'a jamais cessé de m'encourager. Pour son soutien moral et financier et pour tout l'amour qu'elle me procure ;
- Mes grands frères, **Lucien Georland BATCHI**, **Joey Briam MOUTOU** et **Yhann MIENAGATA PAKOU** pour les bons moments partagés ensemble à Ouagadougou;
- Mes ami(e)s, mes frères et sœurs pour votre présence et votre soutien ;
- Mes camarades de classe pour tous ces bons moments partagés ensemble.

Je tiens à remercier également tout le personnel du département Génie Electrique et Tertiaire de Bouygues Energies et Services de Brazzaville pour l'accueil chaleureux qui m'a été offert, pour l'intégration facile et rapide et pour tous ces conseils que j'y ai reçus. Tous les enseignants de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2iE**) du BURKINA FASO pour l'enseignement de qualité dont nous avons reçu. Ainsi que tous ceux et toutes celles qui sont intervenus de près ou de loin pour la réalisation de ce projet.

RESUME

Ce mémoire de fin d'étude de Master en Energie, option Génie Electrique fait l'objet d'un stage effectué dans l'entreprise Bouygues Energies et Services et porte sur le thème : « Mise en place d'une politique de maintenance du système de climatisation du siège de la Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville ».

Les équipements du système de climatisation (groupe froid, pompe à eau glacée, ventilateur-convecteur et centrale de traitement d'air) doivent être pérennes et toujours disponible afin de garantir le confort des occupants. En utilisant les outils d'analyse comme la loi exponentielle, avec un nombre total d'heures de fonctionnement de 8760 heures et un nombre total d'arrêt des équipements de 150 par année, nous obtenons un taux de défaillance de 0,017 par an et une espérance de vie moyenne de 58,4 heures. Ensuite le diagramme de Pareto montre que le groupe froid et les pompes à eau glacée sont critiques c'est-à-dire qu'ils sont responsables de 80% des pannes, d'où la nécessité de mettre plus d'effort de surveillance sur ces équipements. Enfin l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) permet de diminuer considérablement le nombre total d'arrêts par année à 42, ainsi que le taux de défaillance par année à 0,005 et d'augmenter l'espérance de vie moyenne à 208,57 heures.

Ce qui permet de réduire le coût de maintenance à 92 564 € au lieu de 183 773 € et d'avoir un bénéfice de 91 205 €. De ce fait, certaines actions comme la vérification de la pression d'aspiration des compresseurs du groupe froid et des Centrales de Traitement d'Air suivant un planning journalier élaboré à cet effet, le suivi mensuel des ventilateurs du groupe froid et des autres équipements (évaporateur, condenseur, etc...) contribueront au bon fonctionnement du système de climatisation du siège de la Banque.

Mots Clés :

-
- 1 – Politique de maintenance**
 - 2 – Système de climatisation à eau glacée**
 - 3 – Fiabilité**
 - 4 – AMDEC**

ABSTRACT

This fine memory of Master study in Energy, Electrical Engineering option is subject to an internship in the company Bouygues Energies and services and focuses on the theme: "Setting up a system maintenance policy cooling of the office of the Bank of the States of Central Africa in Brazzaville".

Equipment air conditioning system (chiller, chilled water pump, fan coil and air handler) must be permanent and always available to ensure occupant comfort. Using the analysis tools such as exponential, with a total number of operating hours of 8760 hours and a total shutdown of the equipment of 150 per year, we have a failure rate of 0,017 per year and an average life expectancy of 58.4 hours. Then the Pareto chart shows that cold group and chilled water pumps are critical this is to say that they are responsible for 80% of breakdowns, hence the need for more monitoring effort such equipment. Finally, the Failure Mode Analysis, Effects and Criticality (FMEA) can significantly reduce the total number of stops per year to 42, and the failure rate per year to 0,005 and increase the average life expectancy at 208.57 hours.

These reduce maintenance costs to € 92,564 instead of € 183,773 and have a profit of € 91,205. Therefore, certain actions such as checking the suction pressure of the chiller compressors and following Air Handling Units a daily schedule designed for this purpose, monthly monitoring of chiller fans and other equipment (evaporator, condenser, etc ...) will contribute to the proper functioning of the air conditioning system of the Bank's headquarters.

Key words:

- 1 – Maintenance Policy**
- 2 - Chilled water air conditioning system**
- 3 - Reliability**
- 4 – FMEA**

NOMENCLATURE

AMDEC	Analyse des M odes de D éfaillance, de leurs E ffets et de leur C riticité
AFNOR	Association Française de N ormalisation
BEAC	B anque des E tats de l' A frique C entrale
BT	B asse T ension
BP	B asse P ression
C	Conforme
C_{HM}	Coût de l' h eur de m aintenance, Euros
CEMAC	Communauté E conomique et M onétaire de l' A frique C entrale
CTA	Centrale de T raitement d' A ir
COP	Coefficient de P erformance
C_M	Coût de maintenance, Euros
CIAT	Compagnie I ndustrielle d' A pplications T hermiques
Déf/h	D éfaillance/ h eur
E&S	E nergies et S ervices
EN	European Norm, Norme adopté par le comité Européen de Normalisation
ETDE	Entreprise des T ransports et de D istribution E nergie
FCFA	Franc C FA
FF	F luide F rigorigène
GET	G énie E lectrique et T ertiaire
GWP	G lobal W arning P otentiel
HT	H aute T ension
HP	H aute P ression
IT	I nformatique et T élécommunication
M/A	M arche/ A rrêt
Md€	M illiards d'euro
MT	M oyenne T ension
MTBF	M ean T ime B etween two F ailures
MTTR	M ean T ime T o R estore
NC	N on C onforme
NF	N orme F rançaise, norme adopté par l'AFNOR

N_{ed}	N ombre des équipements d éfaillants
N_{HM}	N ombre d' h eur e de m aintenance
NTIC	N ouvelle T echnologie de l' I nformation et de la C ommunication
TBF	T emps de B on F onctionnement
THT	T rès H aute T ension
TTR	T emps T echnique de R éparation
2iE	I nstitut I nternational d' I ngénierie de l' E au et de l' E nvironnement

SOMMAIRE

CITATION	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
NOMENCLATURE	vi
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DE FIGURES	4
LISTE DES PHOTOS	4
INTRODUCTION	5
I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	8
I.1 Bouygues énergies et services au Congo	8
I.3 Activités	9
II. GENERALITES SUR LA MAINTENANCE	11
II.1 Types de maintenance (Norme NF EN (13306))	11
II.2 Les activités de la maintenance (Norme NF EN 13306).....	13
II.3 Les temps de maintenance	13
III. ETUDE ET MAINTENANCE DU SYSTEME DE CLIMATISATION DE LA BEAC 15	
III.1 Groupe froid	16
III.2 Pompes à eau glacée.....	17
III.3 Centrale de traitement d'air (CTA).....	18
III.4 Ventilo- Convecteur.....	20
IV. ANALYSE DES PROBLEMES DU SYSTEME DE CLIMATISATION A EAU GLACEE	25
V. ETUDE ECONOMIQUE	36
V.1 Les coûts directs de maintenance.....	36

V.2 Les coûts indirects de maintenance.....	36
VI. CONCLUSION	38
VII. RECOMMANDATION-PERSPECTIVES.....	39
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>44</i>
ANNEXES.....	45
Annexe 1: La Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville.....	45
Annexe 2: Centrale à eau glacée	45
Annexe 3 : Canalisations aller-retour d'eau glacée	46
Annexe 4 : Centrale de Traitement d'Air (CTA).....	46
Annexe 5: Plaque signalétique du groupe froid à eau glacée	47
Annexe 6: Plaque signalétique de la Centrale de Traitement d'Air (CTA).....	48
Annexe 7: AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur criticité).....	49
Annexe 8: Fiche de suivi mensuel des ventilateurs du groupe froid.....	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du groupe froid.....	16
Tableau 2 : Caractéristiques du moteur de la pompe à eau glacée.....	18
Tableau 3 : Planning d'entretien du groupe froid et des CTA.....	22
Tableau 4 : Planning d'entretien des ventilo-convecteurs.....	23
Tableau 5 : Tableau de défauts (Extrait).....	25
Tableau 6 : Historique de défauts ou arrêts des équipements.....	27
Tableau 7 : Indicateurs de fiabilité.....	27
Tableau 8: Pourcentage du nombre de pannes des équipements.....	29
Tableau 9 : Pourcentage de la durée moyenne des équipements.....	29
Tableau 10 : Pourcentage de la durée des pannes.....	30
Tableau 11 : Combinaison des critères.....	31
Tableau 12 : Origine des défauts.....	32
Tableau 13 : Comparaison des indicateurs de fiabilité.....	33
Tableau 14 : Nombre des équipements qui resteront en service après 9 et 10ans de service...35	
Tableau 15 : Estimation des coûts de consommation de matières.....	37
Tableau 16 : Coût de la maintenance.....	37
Tableau 17 : Fiche de surveillance des pompes à eau glacée.....	39
Tableau 18 : Fiche de surveillance des CTA et groupe froid.....	40
Tableau 19 : Fiche de contrôle hebdomadaire du groupe froid.....	41
Tableau 20 : Anomalies, causes et remèdes.....	42
Tableau 21 : Gamme de maintenance préventive du CTA.....	52
Tableau 22 : Liste des équipements remplacés.....	55
Tableau 23 : Nombre des équipements à garder en stock.....	55

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : Bouygues et ses différentes filiales (Bouygues, 2015).....	8
Figure 2 : Différents types de maintenance (HENG, 2002)	12
Figure 3 : Temps caractéristiques lors d'une intervention (HENG, 2002).....	14
Figure 4 : Schéma de l'installation globale	15
Figure 5 : Centrale à eau glacée CIAT	16
Figure 6 : Eléments de la pompe à eau glacée	17
Figure 7: CTA sans moteur.....	20
Figure 8 : Composants du ventilo-convecteur	20
Figure 9 : Ventilo-convecteur en état délabré.....	20
Figure 10 : Mauvaise utilisation des ventilo-convecteurs	21
Figure 11 : Variation du taux de défaillance en fonction du temps (Jérémy, 2011)	28
Figure 12 : Diagramme du critère sur le nombre de pannes	29
Figure 13 : Diagramme du critère sur la durée moyenne d'une panne	30
Figure 14 : Diagramme du critère sur la durée des pannes.....	31
Figure 15 : Choix du type de maintenance	50
Figure 16 : Synoptique de climatisation de la BEAC de Brazzaville	51

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Pompe à eau glacée sans accouplement.....	18
Photo 2 : Eléments de la Centrale de Traitement d'Air.....	19
Photo 3 : Références techniques du ventilo-convecteur.....	47

INTRODUCTION

1. Contexte

Dans un contexte économique en constante évolution, la concurrence oblige l'industriel à améliorer le rendement de ses installations de production pour répondre aux besoins de ses clients. Pour satisfaire la demande en qualité, en quantité tout en respectant les délais de livraisons et les coûts, les entreprises doivent disposer d'un outil de production fiable donc bien entretenu. Elaborer un plan de maintenance préventive, c'est lister et décrire toutes les opérations de maintenance préventive qui devront être effectuées sur chaque équipement. La maintenance n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail, mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. De par son action directe sur les équipements de production, la maintenance est devenue un levier de performance incontournable qui conditionne les résultats d'une organisation. Elle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Même si les coûts des actions de maintenance ne sont pas négligeables, ceux liés aux arrêts de production ont un impact encore plus fort sur la production, les produits ou services proposés par l'entreprise et donc sur les clients. Le maintien de ces systèmes de production en bonne état ou leur maintenance est l'aboutissement en partie d'un travail d'envergure en amont.

L'entreprise Bouygues Energies et Services Congo est une entreprise spécialisée dans les domaines énergétique et électrique notamment le froid, la climatisation 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 en tant que prestataire, la maintenance en général de la Direction Nationale de la Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville et vise à mettre en place une politique de maintenance de son système de climatisation. L'entreprise Bouygues E&S prestataire vise à eau glacée dont elle a en charge. Cependant l'arrêt brusque prolongé et intempestif des équipements du système de climatisation impacte directement et négativement sur la production du froid, d'où le mécontentement du client.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thème de mémoire de fin d'études qui est axé sur le projet de mise en place d'une politique de maintenance du système de climatisation à eau glacée de la BEAC .

2. Justification de l'étude

La Banque des Etats de l'Afrique Centrale, institution officielle de la Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale, est un établissement public multinational groupant les six (6) états de la CEMAC (Cameroun, Centrafrique, Congo, Gabon, Guinée Equatoriale et le Tchad). Elle a pour missions d'émettre les billets de banque et les monnaies métalliques qui ont cours légal et pouvoir libératoire dans l'union et en garantir la stabilité, de conduire les opérations de change, de promouvoir le bon fonctionnement du système de paiement dans l'union, de détenir et gérer les réserves de change des pays membres, de définir et de conduire la politique monétaire applicable dans les pays membres de l'union. Le siège de la direction nationale de la BEAC est situé à Brazzaville (CONGO), sur l'avenue Denis Sassou NGUESSO au Centre-ville (Cf. annexe 10). C'est un immeuble de treize (13) étages (R+13) et un sous-sol (Voir annexe 1). Cet immeuble est majestueux, imposant, élégant et est constitué de bureau, de salle de réunion et de cafétéria allant du 1^{er} au 6^{eme} étage. Le système de climatisation de cet immeuble est de type centralisé à eau glacée. Le renouvellement d'air est effectué dans ces bureaux grâce à des centrales de traitement d'air (CTA) et des ventilo-convecteurs installés à cet effet.

La présente étude s'inscrit dans une vision globale de rendre tous les équipements du système de climatisation disponibles afin de permettre ainsi un meilleur confort des agents de la banque pour le bon fonctionnement de leurs activités. En effet, la BEAC tient énormément à un meilleur rendement de ce système de climatisation à eau glacée c'est-à-dire de ces groupes de production d'eau glacée, pompe à eau glacée, ventilo-convecteur et CTA. Bouygues 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 Bouygues car elle lui permettra de prendre les mesures qui s'imposent au bon fonctionnement des groupes de production d'eau glacée, pompes à eau glacée, ventilo-convecteurs et CTA pour satisfaire le client c'est-à-dire assurer le confort des occupants des locaux de la BEAC .

3. Objectifs

L'objectif principal 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, pompes à eau glacée, ventilo-convecteur et Centrale de Traitement d'Air afin de définir une politique de maintenance rigoureuse tout en assurant la disponibilité et la continuité de service. De façon spécifique, pour favoriser la réalisation de l'objectif principal, ce travail vise à :

- Améliorer la productivité du service en accomplissant toutes les visites prévues,
- Développer les plans de maintenance préventifs adaptés.

I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Le Groupe Bouygues Energies et Services, filiale du groupe Bouygues Construction est un acteur global dans le domaine des énergies et des services avec plus de 12000 collaborateurs, un chiffre d'affaires de 1,6 milliards d'euro et un portefeuille d'activité de 4,8 milliards d'euro. Il est un acteur international de proximité dans 25 pays d'implantation et 200 implantations en France.

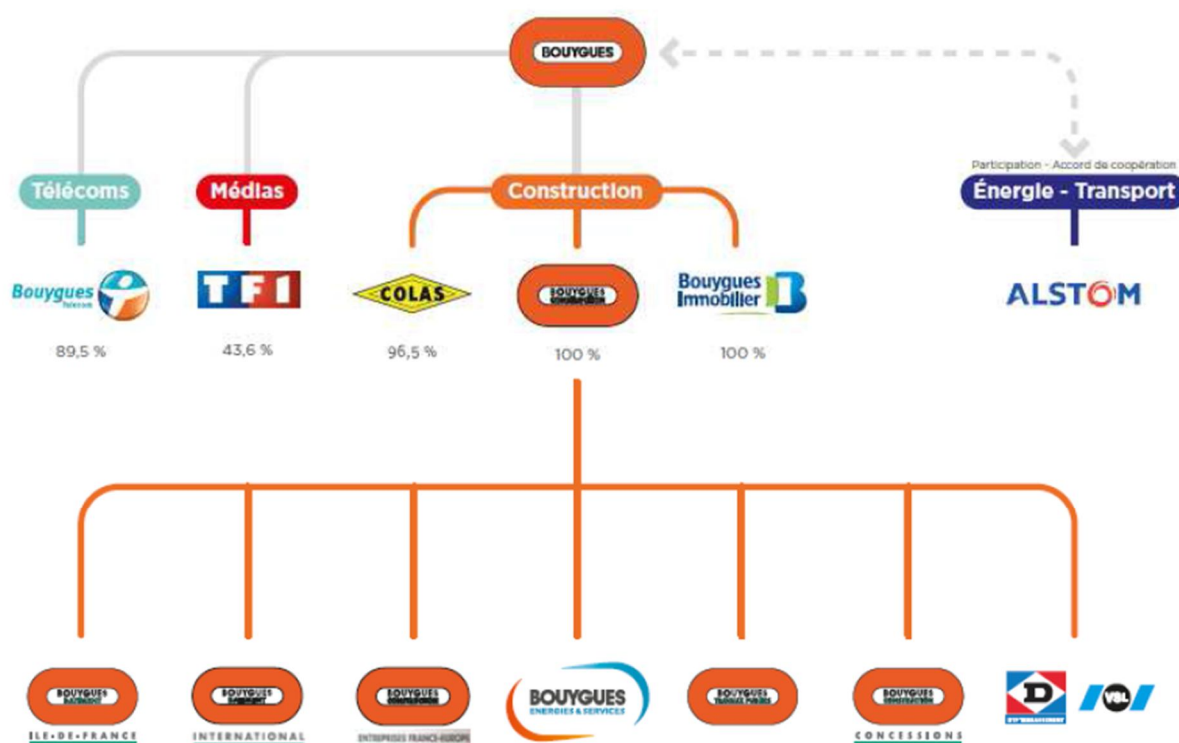


Figure 1 : Bouygues et ses différentes filiales (Bouygues, 2015)

I.1 Bouygues énergies et services au Congo

Bouygues Energies et Services est présente au Congo depuis l'an 2000, d'abord sous le nom de SOGECO avant de devenir ETDE Congo il y a quelques années. Il est un acteur majeur dans la réalisation des grands projets et a un chiffre d'affaires de 23 milliards de FCFA. Durant cette période, l'entreprise a développé ses compétences dans tous les domaines de l'énergie et des services liés à ses quatre marchés principaux qui sont :

- Les infrastructures de réseaux électriques en milieu urbain et rural ;
- L'électricité industrielle et l'instrumentation notamment en milieu pétrolier et minier ;

- Le Génie Electrique et Thermique et toutes ses compétences connexes en tertiaire et communication / IT ;
- Le traitement et l'adduction d'eau potable

Fortes des compétences de ses 320 salariés et de l'appui des moyens techniques et humains de sa maison mère, **Bouygues Energies & Services Congo** est à même de répondre à toutes les demandes de ses clients en conception, construction, exploitation et maintenance, ainsi qu'à la réalisation de projets clef en main dans le cadre d'offres globales mettant en jeu toutes les compétences du groupe Bouygues Construction et ce, sur l'ensemble du territoire Congolais.

I.2 Objectifs de l'entreprise

- Favoriser la mobilité des biens et des personnes
- Alimenter vos territoires en énergie et en eau potable
- Développer le très haut débit et favoriser le développement numérique
- Préserver l'environnement et promouvoir les énergies renouvelables
- Répondre aux attentes en matière de sécurité et d'attractivité.

I.3 Activités

Bouygues E&S Congo est un intégrateur unique et multidisciplinaire :

- Management des projets complexes
- Synergies avec d'autres entités du groupe Bouygues
- Recherche de partenariats adaptés : partenariats locaux, groupements d'entreprise,
- Intervention sur tout ou partie de la chaîne de valeurs : audit et études, travaux, maintenance et exploitation, formation,
- Deux implantations complémentaires et autonomes en ressources (Brazzaville & Pointe-Noire).

Les différents projets réalisés par Bouygues Energies et Services au Congo sont :

- Conception, construction et réhabilitation de 450 km de lignes électriques très haute tension

Mise en place d'une politique de maintenance du système de climatisation à eau glacée du siège de la BEAC de Brazzaville

- Construction de huit postes électriques 220kV, le déploiement d'une liaison fibre optique, la logistique et les approvisionnements
- Densification du réseau électrique de la ville de Brazzaville

II. GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

Définition de la maintenance

La norme AFNOR NF X 60-010, définit la maintenance comme « l'ensemble de toutes les actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.» (HENG, 2002) (FGAIER, 2003). Dans une entreprise, maintenir, c'est donc effectuer les opérations (dépannage, réparation, entretien, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité (HENG, 2002). La mission globale de la maintenance est la diminution du rapport suivant (FGAIER, 2003) :

$$\text{Maintenance} = \frac{\text{dépenses de maintenance}}{\text{quantité et la qualité de service rendu}}$$

II.1 Types de maintenance (Norme NF EN (13306))

Il existe plusieurs types de maintenance, le schéma ci-dessous (Figure 2) synthétise les types de maintenance selon la norme NF EN 13306.

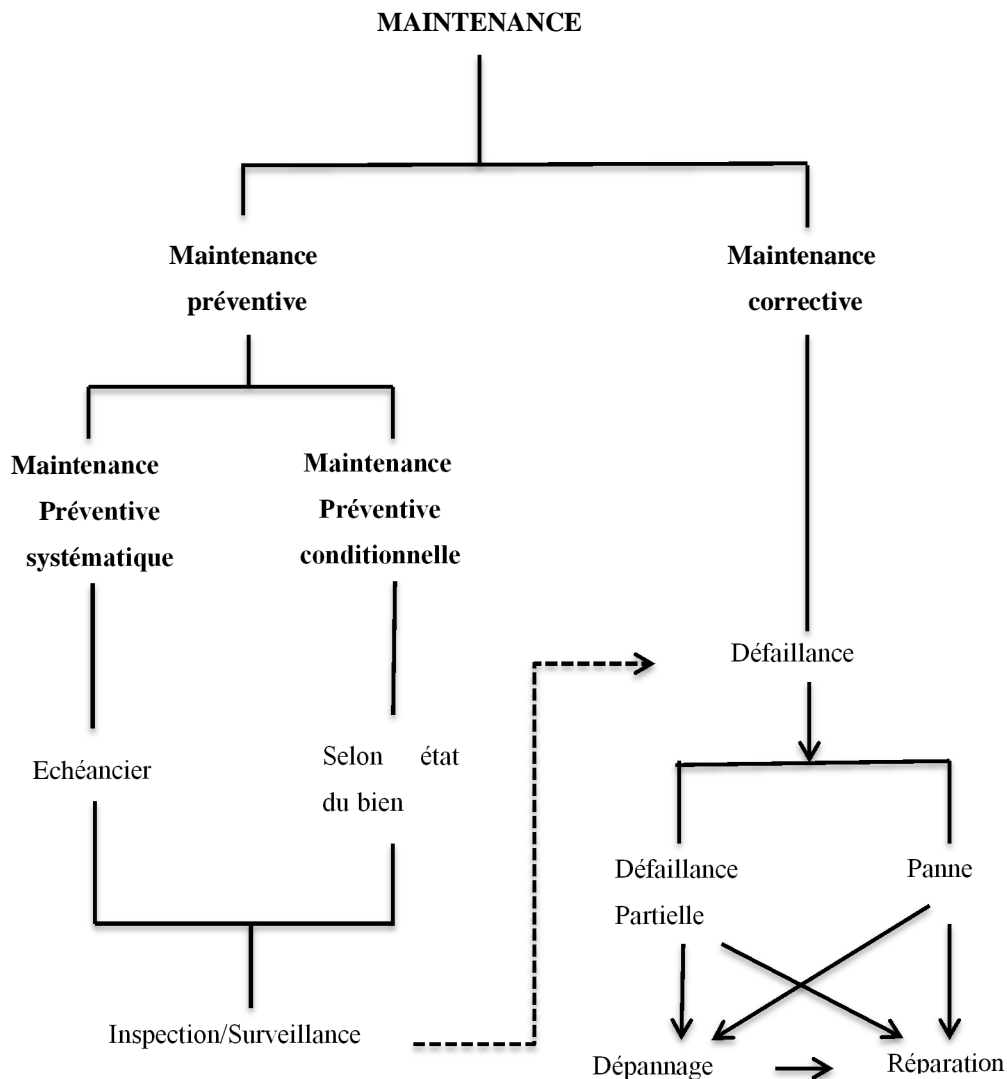


Figure 2 : Différents types de maintenance (HENG, 2002)

La maintenance corrective

C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

La maintenance préventive

C'est la maintenance exécutée à des intervalles déterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien.

La maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

La maintenance préventive conditionnelle

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et / ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance préventive prévisionnelle

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

Dans notre travail il est question d'appliquer la maintenance préventive pour réduire la probabilité de défaillances.

II.2 Les activités de la maintenance (Norme NF EN 13306)

La maintenance requière plusieurs activités parmi lesquelles il y a :

- L'inspection
- La surveillance
- La réparation
- Le dépannage
- La révision
- La reconstruction
- L'amélioration

II.3 Les temps de maintenance

Le temps de la maintenance se définit comme la moyenne des temps techniques de fonctionnement, réparation et arrêt. On distingue :

La MTBF: C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Le temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

La MTTR : C'est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR). Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

La MTTF : C'est le temps moyen avant la prochaine défaillance, elle est comparable à la MTBF.

La MTTA : C'est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA). Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière d'énergie, changement de production, etc.).

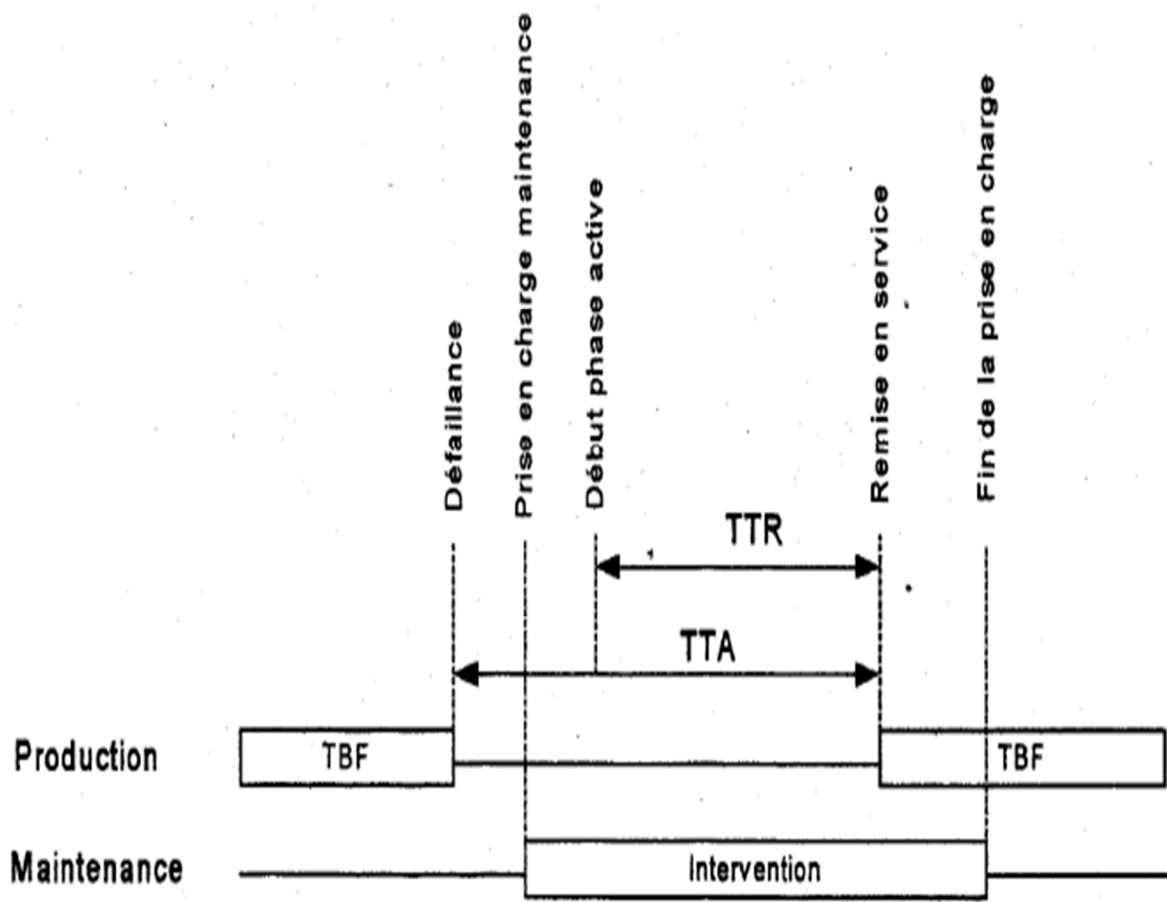


Figure 3 : Temps caractéristiques lors d'une intervention (HENG, 2002)

III. ETUDE ET MAINTENANCE DU SYSTEME DE CLIMATISATION DE LA BEAC

Présentation des équipements de la climatisation

Le confort des occupants du bâtiment de la BEAC est assuré grâce à la production de l'eau glacée par les groupes frigorifiques. L'eau glacée produite par la centrale est obtenue par le passage de l'eau relativement froide à travers un évaporateur qui favorise l'échange de chaleur entre l'eau et le fluide frigorigène dans le groupe frigorifique. A la sortie de l'évaporateur, l'eau est entre 2 et 7°C de température. Le système de climatisation de la BEAC est un système « Eau-Air » (évaporateur à eau et condenseur à air).

La climatisation à eau glacée repose sur les principes suivants (Powerciat, 2005):

- La production d'eau glacée par des systèmes frigorifiques appelés Groupes frigorifiques
- La distribution de l'eau par un réseau hydraulique
- La climatisation dans les locaux à traiter est assurée par les CTA et les ventilo-convecteurs.

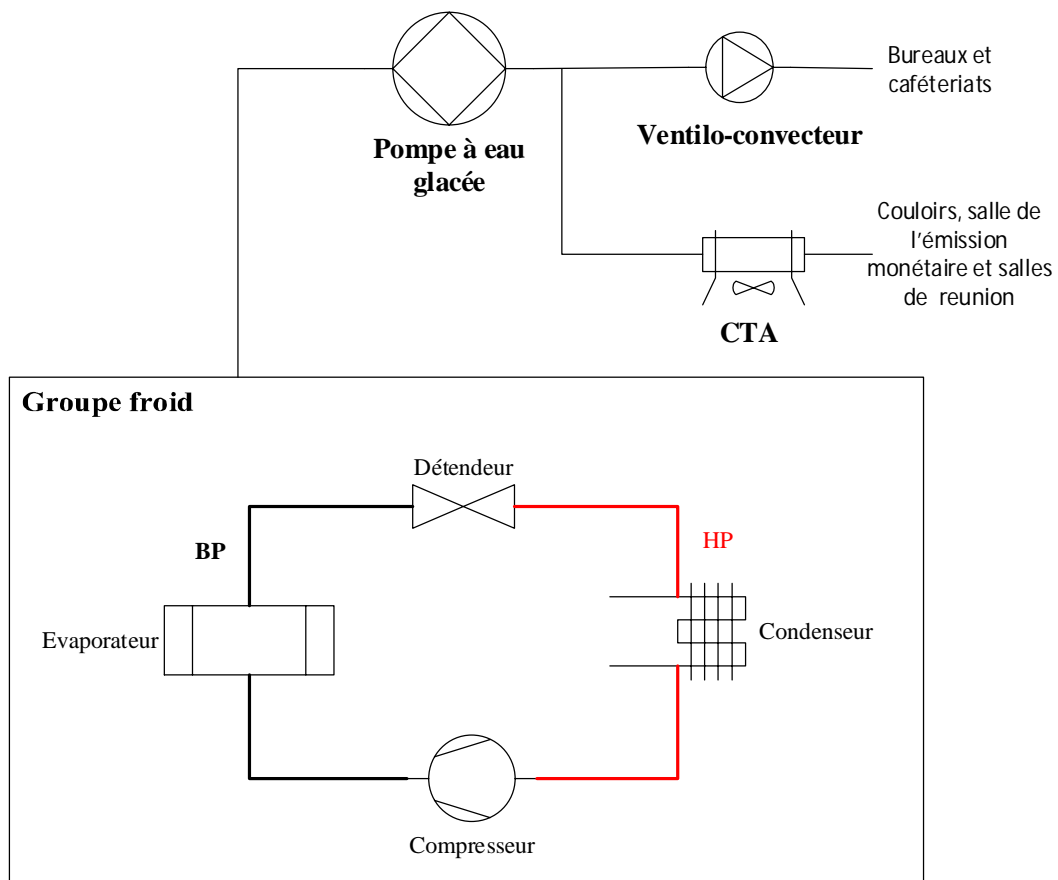


Figure 4 : Schéma de l'installation globale

III.1 Groupe froid

Le Tableau 1 représente les caractéristiques du Groupe froid. Il est composé de l'ensemble des équipements de production du froid.

Tableau 1 : Caractéristiques du groupe froid

Nom	Groupe froid
Marque/model	CIAT / AQUACIAT POWER LD 1800BV
Puissance frigorifique	497,6 kW
Puissance absorbée	168,4kW/228,80 cv
Fluide frigorigène/GWP	R410a/2088
Mode démarrage des compresseurs	En cascade
Fluide	Eau
Température entrée/sortie	12°C /7°C
Débit	85,8 m ³ /h
COP	2,95
Température entrée d'air	35°C
Vitesse rotation ventilateurs	905 tr/min
Débit d'air	168 968 m ³ /h
Nombre de ventilateurs	8



Figure 5 : Centrale à eau glacée CIAT

❖ La distribution de l'eau glacée

La distribution de l'eau glacée s'opère par un réseau de tuyauteries entre le groupe froid, les pompes et les appareils terminaux.

La tuyauterie utilisée est de l'acier noir isolé par du polystyrène recouvert de la peinture anti-rouille.

Les réseaux cheminent dans les faux plafonds au sous-sol avant d'atteindre les niveaux supérieurs. Ils passent ensuite dans des boîtes en bois mélaminés et posés au sol pour atteindre les ventilo-convecteurs dans les bureaux.

III.2 Pompes à eau glacée

Les pompes ou circulateurs sont utilisées pour assurer la circulation de l'eau glacée. À la BEAC on utilise les pompes horizontales de type NO de SALMSON et les pompes in line simple et double du type LRL/JRL de SALMSON. L'eau glacée produite par le groupe froid est distribuée aux éléments terminaux qui sont les ventilo-convecteurs et centrale de traitement d'air par l'intermédiaire des pompes via le réseau de distribution d'eau glacée. Les pompes d'eau glacée doivent être impérativement asservies (relier de façon que l'une obéisse aux variations de l'autre) au groupe frigorifique. L'arrêt des pompes entraînera automatiquement l'arrêt du groupe frigorifique pour éviter tout risque de gel (ou glace) de l'évaporateur (POWERCIAT, 2013). Elle est composée de trois éléments à savoir le moteur, l'accouplement et la pompe (voir Figure 6).

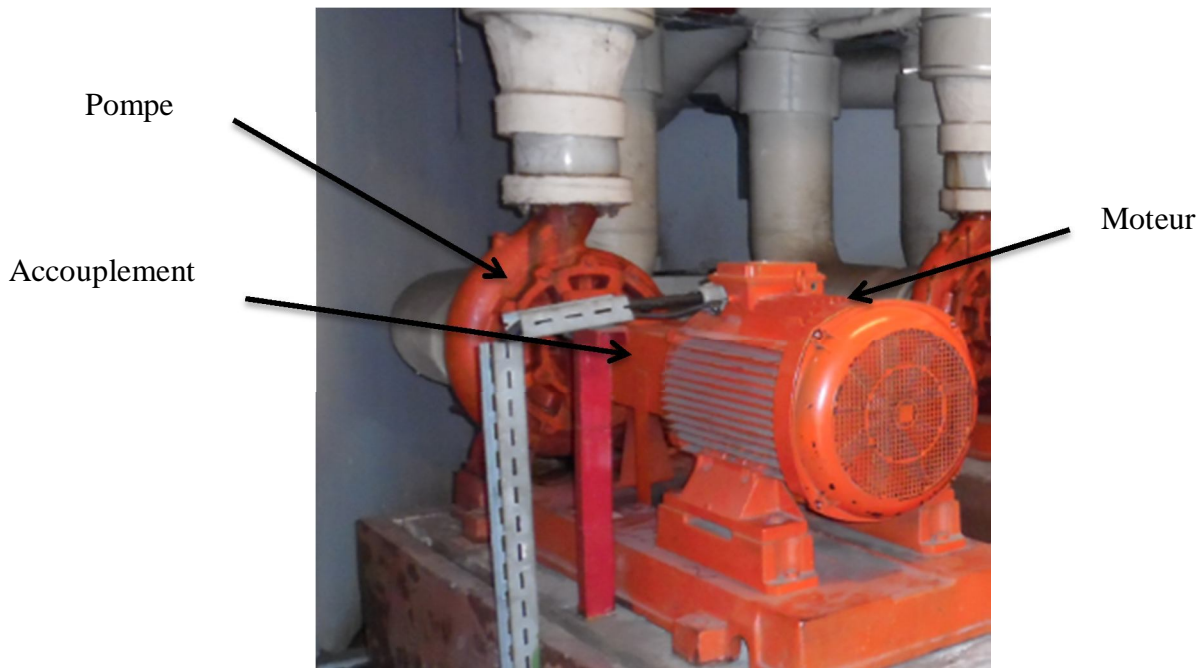


Figure 6 : Eléments de la pompe à eau glacée

Tableau 2 : Caractéristiques du moteur de la pompe à eau glacée

	Tension (V)	Fréquence (Hz)	Vitesse nominale (tr/min)	Puissance (KW)	Cos ϕ	Intensité (A)
Δ	400	50	1460	45	0,85	82
Y	690					47,3
Δ	380		1765	45	0,86	85,4
Y	660	60				49,3
Δ	440		1750	45	0,85	80,2
Y	760	60				46,3

Diagnostic : Plusieurs pompes à eau glacée sont à l'arrêt par manque d'accouplement (Photo 1).



Photo 1 : Pompe à eau glacée sans accouplement

Concernant la maintenance des pompes à eau glacée, il n'existe pas de planning d'entretien. Seule la maintenance corrective est appliquée.

III.3 Centrale de traitement d'air (CTA)

Une centrale de traitement d'air est un assemblage de modules ayant chacun une fonction précise et dont le rôle est de traiter et/ ou modifier les caractéristiques de l'air qui y circule (SIDIBE, 2014).

L'air neuf est traité (filtré, refroidit et déshumidifié) dans une CTA et soufflé dans les salles via les grilles de soufflages, puis repris et rejeté vers l'extérieur via les gaines. La CTA nécessite la mise en place d'un réseau aéraulique, qui est composé d'un réseau de soufflage d'air frais, d'un réseau de reprise de l'air recyclé (air repris dans le local), d'un réseau d'amenée d'air neuf. Par ailleurs, l'air neuf autrement dit l'air du milieu extérieur et celui des locaux (encore appelé air repris) se mélangent puis sont traités. Ce traitement consiste en la filtration, au refroidissement et déshumidification, au chauffage et à l'atténuation acoustique de l'air extérieur à souffler. Ce mélange d'air passe par la batterie froide à travers laquelle traverse l'eau glacée. Il ressort de l'air conditionné encore appelé air frais, qui est ensuite envoyé dans les salles de réunions, bureau d'émission monétaire et couloirs de la banque par l'intermédiaire des grilles de soufflage circulaires.



Photo 2 : Eléments de la Centrale de Traitement d'Air

Diagnostic : Plusieurs CTA sont en arrêts, qui sont causés par manque de moteur et/ou des courroies.



Figure 7: CTA sans moteur

III.4 Ventilateur- Convecteur

Le ventilateur-convecteur est un appareil terminal de climatisation destiné de souffler de l'air dans une pièce afin d'apporter la quantité nécessaire en calories ou frigories. L'air repris est filtré puis traverse une batterie froide à eau avant d'être envoyé dans la pièce à climatiser. Le bâtiment de la BEAC dispose de 133 ventilateur-convecteurs de modèle console non apparent (installation dans un meuble), qui sont fixé au mur et installés dans les bureaux et cafétérias . Mais, il peut aussi être placé au sol, fixé au plafond ou intégré dans le plafond.

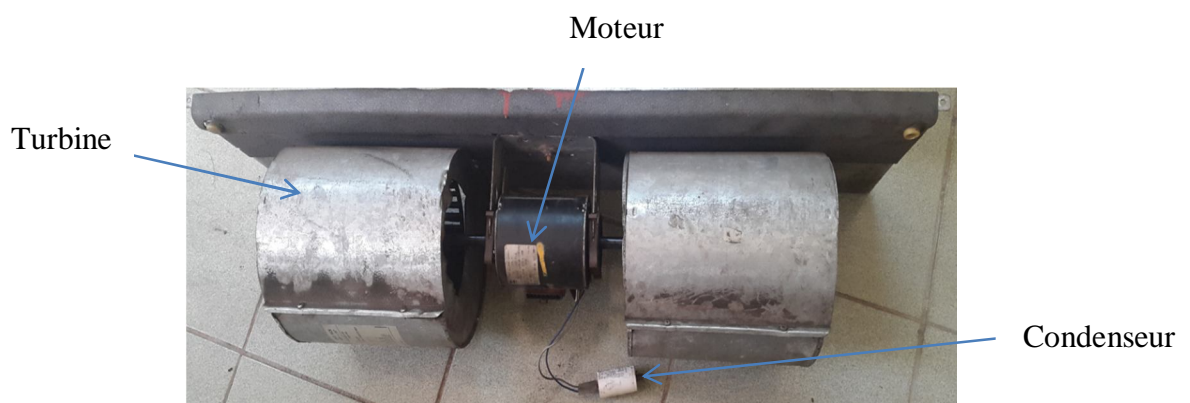


Figure 8 : Composants du ventilateur-convecteur

Etat de l'équipement : La plupart de ces ventilateur-convecteurs sont dans un état délabré, certains ne fonctionnent pas et d'autres ont des débits de soufflage très faibles.

Cela est dû au fait que les batteries sont très encrassées et également aux mauvais comportements de certains occupants des bureaux c'est-à-dire que les agents de la BEAC déposent des livres, des feuilles, etc... sur les grilles de ces ventilo-convecteurs (Figure 10).



Figure 9 : Ventilo-convecteur en état délabré



Figure 10 : Mauvaise utilisation des ventilo-convecteurs

Aucune sensibilisation sur l'hygiène telle que des affiches sur lesquelles on interpelle les occupants des bureaux et cafétéria de la BEAC à œuvrer pour l'hygiène des ventilo-convecteurs n'est faite. L'entretien des ventilo-convecteurs se fait suivant le planning ci-dessous (Tableau 4).

Maintenance du système de climatisation

La maintenance du groupe froid et des CTA se fait suivant le planning ci-dessous (Tableau 3). Mais malgré ce planning, on trouve l'encrassement des condenseurs, de l'évaporateur par la poussière, l'arrêt des ventilateurs du condenseur et l'arrêt des CTA par manque de moteur et/ou courroie.

La maintenance des ventilo-convecteurs se fait suivant le planning ci-dessous (Tableau 4). Mais malgré cela, plusieurs moteurs des ventilo-convecteurs tombent en panne. Tout cela est dû au manque du tableau de bord, de la fiche de suivi journalier et aux comportements des occupants des locaux.

Tableau 3 : Planning d'entretien du groupe froid et des CTA

ENTRETIEN GENERAL	JANVIER					FEVRIER				MARS				AVRIL					MAI				JUN					JUILLET					AOÛT				SEPTEMBRE				OCTOBRE				NOVEMBRE				DECEMBRE				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
GROUPE FROID																																																					
CTA8																																																					
CTA7																																																					
CTA2A																																																					
CTA2B																																																					
CTA2C																																																					
CTA10																																																					
CTA5A																																																					
CTA5B																																																					
CTA INF																																																					
CTA6																																																					
CTA 11																																																					
CTA 4A																																																					
CTA 4B																																																					
CTA du 11ème																																																					

Observation des plannings par rapport aux recommandations des constructeurs

Les plannings ci-dessus nous montrent que l'entretien du groupe froid se fait seulement au mois de janvier et juillet donc deux fois dans l'année. Ce qui est normale car le constructeur recommande qu'il ait des visites trimestrielle, semestrielle et annuelle. Celui des CTA se fait chaque deux mois. Ce qui est normale vu qu'il y a beaucoup de CTA et le constructeur recommande qu'il ait des entretiens annuels. Et celui des ventilo-convecteurs se fait trimestriellement et le constructeur prévoit la même chose.

Au regard de ces plannings, nous remarquons qu'il y a des arrêts du groupe froid, des CTA et des ventilo-convecteurs. D'où il faut ajouter à ces plannings des fiches de contrôle ou de surveillance et les visites journalières pour bien entretenir tous ces équipements.

IV. ANALYSE DES PROBLEMES DU SYSTEME DE CLIMATISATION A EAU GLACEE

Dans cette étude, nous allons focaliser notre attention sur le groupe froid, la Centrale de Traitement d'Air, le ventilo-convecteur et la pompe à eau glacée, qui sont les équipements du système de climatisation à eau glacée. Pour la gestion des défaillances, la mémoire du groupe froid enregistre toutes les actions liées au fonctionnement des équipements (alarme, indication et action) de façon instantanée à savoir les états des pompes à eau glacée et groupe froid. Nous avons procédé dans un premier temps, à une récolte d'information sur la mémoire de façon à sortir la liste des défauts, date/heure et les origines des défauts et dans un second temps, à une numérotation (date et heure) des défauts des ventilo-convecteurs et des Centrales de Traitement d'Air.

L'objectif de la méthode statistique de recherche de la fiabilité est de définir, à partir d'un échantillon d'équipements d'une même catégorie, une estimation du comportement de l'ensemble de ces équipements et celui des outils d'analyse des défaillances est de mettre en évidence les actions prioritaires et de faire une analyse prévisionnelle. Il faut noter que la période d'étude a été fixée entre décembre 2014 et décembre 2015 et le tableau ci-dessous (Tableau 5) est un extrait de défauts recueillis après les deux temps mentionné plus haut.

Tableau 5 : Tableau de défauts (Extrait)

Date	Description	Action	Nombre
03/08/2015 09:50:47	Arrêt de la pompe	Défaut	1
03/08/2015 09 : 51:01	Arrêt du groupe froid	Défaut	1
03/08/2015 12 :15 : 10	Arrêt de la pompe	Défaut	1
03/08/2015 12 : 15 : 25	Arrêt du groupe	Défaut	1
03/08/2015 11 : 25	Arrêt du ventilo-convecteur	Défaut	2
04/08/2015 08 : 10	Arrêt du CTA	Défaut	3

Date	Description	Action	Nombre
02/07/2015 18 : 15 : 10	Arrêt de la pompe	Défaut	1
02/07/2015 18 : 15 : 30	Arrêt du groupe	Défaut	1
14/07/2015 07 : 50	Arrêt du CTA	Défaut	1
17/07/2015 08 :02	Arrêt du CTA	Défaut	1
23/06/2015 13 : 24	Arrêt du ventilateur-convecteur	Défaut	2
30/06/2015 10 : 25 : 30	Arrêt de la pompe	Défaut	1
30/06/2015 10 : 25 :50	Arrêt du groupe froid	Défaut	1

La méthode statistique « *loi exponentielle* », qui décrit les phénomènes d'une machine dans leur stade de maturité, a été utilisée pour ressortir les données à interpréter ainsi que les outils d'analyses des défaillances comme le graphe de Pareto, est utilisé pour la mise en évidence des actions prioritaires et l'AMDEC pour une analyse prévisionnelle. Les données sont utilisées pour la prédiction de la fiabilité du système au présent et dans le futur.

1. Loi exponentielle

La loi exponentielle est une loi qui modélise la durée de vie d'un équipement. Elle s'applique lorsque le taux de défaillance est considéré constant (Belhomme, 2010-2011) .

Lambda (λ) est le taux de défaillance et $1/\lambda$ est l'espérance ou durée de vie moyenne (MTBF). Le tableau ci-dessous (Tableau 6) ressort le nombre de défaillances ou arrêt des équipements pendant une année.

Tableau 6 : Historique de défauts ou arrêts des équipements

Equipements	Nombre d'arrêt
Groupe froid	35
Pompe à eau glacée	35
Ventilo-convecteurs	28
CTA	52
Total général	150

Hypothèse : Nous avons considéré l'hypothèse que le système de climatisation fonctionne 24h/24 et sur une période d'une (1) année, une durée totale de 8760h a été obtenu. L'unité utilisée dans cette loi étant l'heure, les résultats de calculs sont en heure.

$$\text{Taux de défaillance } \lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Temps total de fonctionnement}} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Au regard du tableau ci-dessus (Tableau 6), les indicateurs de fiabilité de ces équipements ont été calculé, afin de prédire la fiabilité du système et modéliser leur durée de vie. La MTBF est considérée comme l'espérance de vie de l'équipement.

En utilisant la loi exponentielle, nous obtenons les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous (Tableau 7). Ces paramètres sont des indicateurs qui nous permettront de prendre des décisions sur le plan de maintenance à appliquer sur les équipements. Ils ont été calculés avec la même hypothèse (nombre total d'heures de fonctionnement) car ces équipements sont soumis aux mêmes conditions d'exploitation.

Tableau 7 : Indicateurs de fiabilité

Nombre d'arrêt	150
Nombre total d'heures de fonctionnement	8760
Taux de défaillance λ (déf/h)	0,017
MTBF en heures	58,4

Après le calcul des indicateurs de fiabilité de ces équipements (Tableau 7), nous remarquons que le nombre d'arrêt est élevé (150 arrêts/an), cela conduit à un taux de défaillance élevé (ce qui signifie que la probabilité de ne pas détecter le défaut est élevée : contrôle mal adapté).

Tous les équipements dépendent de la courbe ci-dessous (Figure 11) appelé courbe en baignoire, qui représente la variation du taux de défaillance en fonction du temps. Elle illustre les différentes phases de la vie d'un équipement.

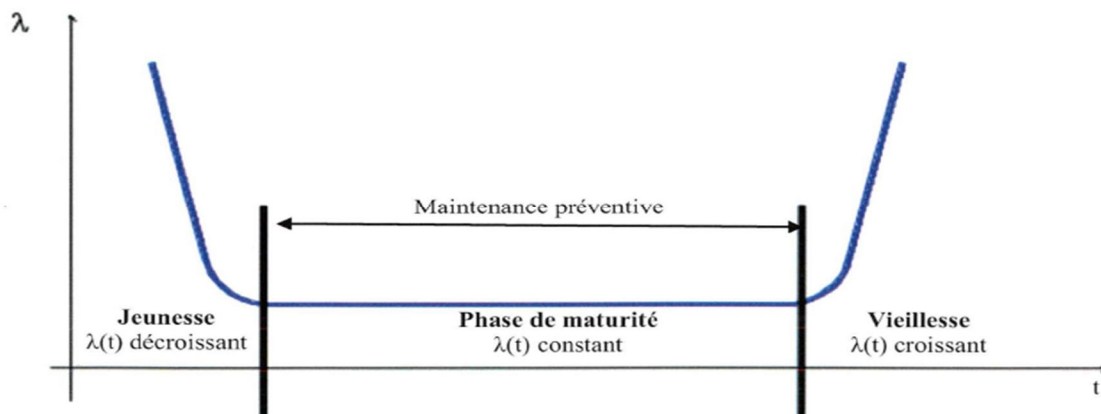


Figure 11 : Variation du taux de défaillance en fonction du temps (Jérémié, 2011)

2. PARETO

La loi de Pareto est un outil d'analyse dont le principe, aussi appelé principe des 80/20, décrit une règle selon laquelle environ 80% des effets sont des produits de 20% des causes.

Le diagramme de Pareto permet de positionner les équipements critiques (selon le critère défini) d'après une répartition de type 80/20 : 20% des équipements produisent 80% des pannes. Les équipements sont classés selon un ordre décroissant par rapport au critère.

Les critères

Il est nécessaire de définir un critère permettant de comparer les équipements. Les critères principaux sont :

- Le nombre de pannes
- La durée moyenne des pannes (elle est calculée en divisant la durée totale d'arrêt de l'équipement par le nombre de pannes)

- Le coût des arrêts dus aux pannes (ce coût est en général relativement proportionnel à la durée d'arrêt de l'équipement).

Le choix du critère se porte sur le nombre de pannes (Tableau 8).

Tableau 8: Pourcentage du nombre de pannes des équipements

Equipements	Nombre de pannes	Fréquence (%)	Fr. cumulée (%)
CTA	52	35 %	35%
Pompe à eau glacée	35	23%	58%
Groupe froid	35	23%	81%
Ventilo-convecteur	28	19%	100%
Total	150		

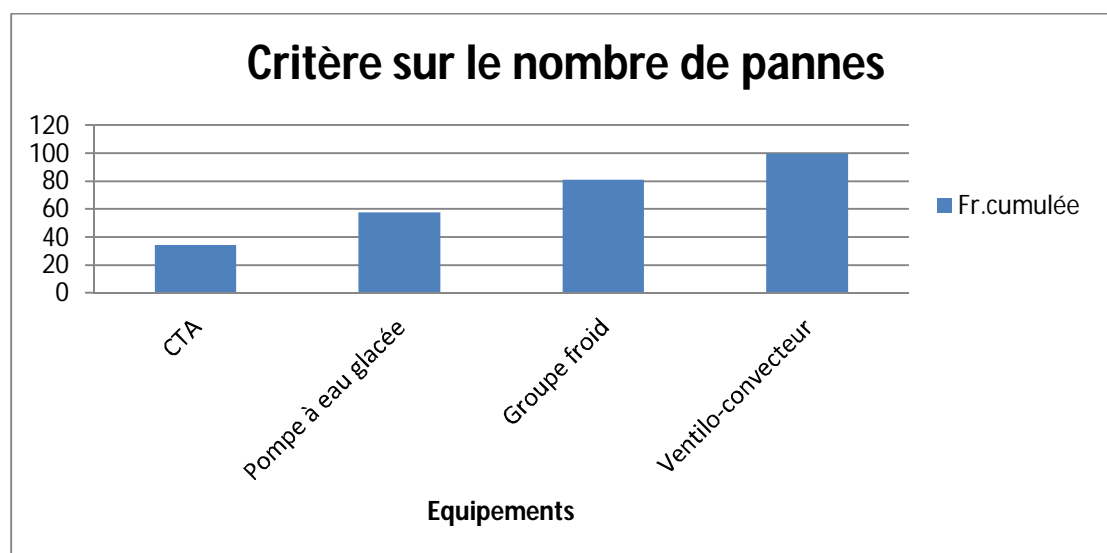


Figure 12 : Diagramme du critère sur le nombre de pannes

Le diagramme montre que les CTA, pompe à eau glacée et groupe froid sont critiques, on doit donc appliquer la maintenance préventive systématique à ces équipements et une maintenance préventive conditionnelle aux ventilo-convecteurs.

Le choix du critère se porte sur la durée moyenne d'une panne (Tableau 9).

Tableau 9 : Pourcentage de la durée moyenne des équipements

	Durée	Nombre	D.moy	Fréquence %	Fr. cumulée %
CTA	3650	52	70	39	39
Ventilo-convecteur	1825	28	65	37	76
Pompe à eau glacée	730	35	21	12	88
Groupe froid	730	35	21	12	100

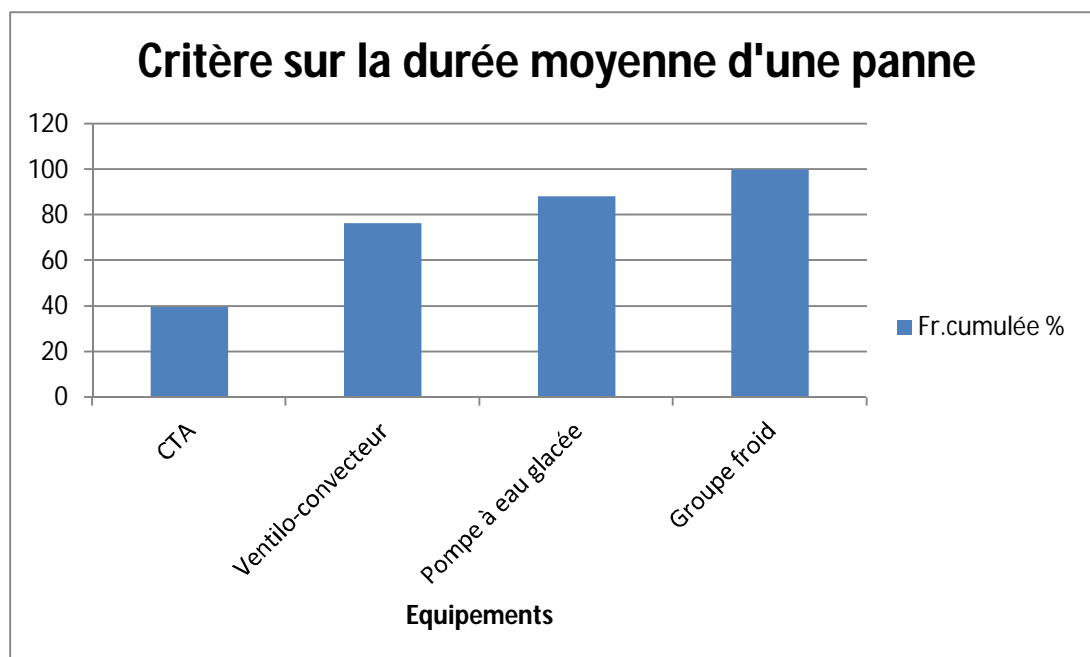


Figure 13 : Diagramme du critère sur la durée moyenne d'une panne

Le diagramme montre que les CTA et les ventilateur-convecteurs sont critiques. On doit appliquer la maintenance préventive systématique aux CTA et ventilateur-convecteurs et on doit appliquer la maintenance conditionnelle au groupe froid et pompe à eau glacée.

Le choix du critère se porte sur la durée des pannes (c'est-à-dire sur le coût).

Tableau 10 : Pourcentage de la durée des pannes

	Durée	Fréquence (%)	Fr. cumulée (%)
CTA	3650	52	52
Ventilo-convecteur	1825	26	78
Pompe à eau glacée	730	11	89
Groupe froid	730	11	100

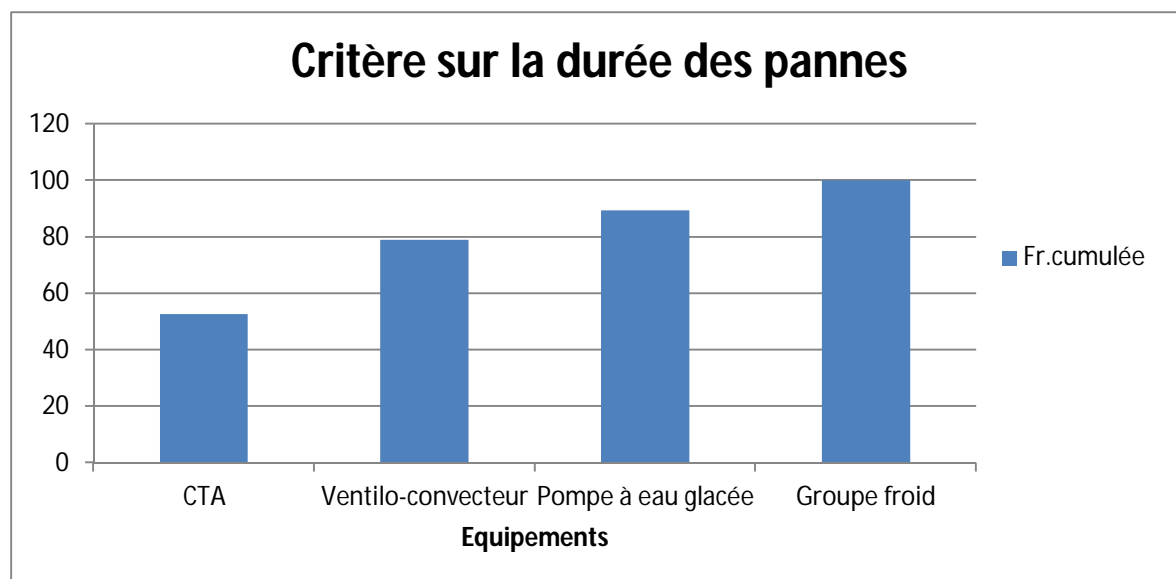


Figure 14 : Diagramme du critère sur la durée des pannes

Le diagramme montre que les CTA et les ventilateur-convecteurs sont critiques, ce qui incite à porter les efforts de maintenance sur ces équipements. On doit appliquer la maintenance préventive systématique aux CTA et ventilateur-convecteurs et une maintenance conditionnelle pour le groupe froid et les pompes à eau glacée.

Tableau 11 : Combinaison des critères

Coefficient	2	1	3	Points				
	Nombre	Dur.moy	Coût	Nombre	Dur.moy	coût	Note	Classt
Groupe froid	2	3	3	4	3	9	38	1
Pompe à eau glacée	2	3	3	4	3	9	38	1
Ventilo-convecteur	3	2	2	6	2	6	32	2
CTA	1	1	1	2	1	3	14	3

Les équipements ayant les meilleures notes sont les plus critiques. Le groupe froid, les pompes à eau glacée et le ventilateur-convecteur sont les plus critiques.

L'abaque de Noiret : Compte tenu du fait que nous n'avons pas l'historique complet des équipements, nous ne pouvons pas utiliser l'abaque de Noiret pour affiner nos résultats.

Dans la suite de l'étude, nous allons nous intéresser sur l'origine de ces défaillances.

Origine de ces défauts

Une coupure de courroie, un arrêt des moteurs des pompes à eau glacée ou du compresseur et du condenseur dans un système de climatisation constitue un défaut ou une perturbation.

Ce sont le plus souvent le mal dressement ou la cassure des poulies, le faible débit d'eau au niveau de la pompe, le manque de ventilateurs qui sont à l'origine de ces perturbations.

Tableau 12 : Origine des défauts

Défauts	Causes
Arrêt du moteur de la pompe	Faible débit d'eau au niveau de la pompe Tension d'alimentation trop basse
Arrêt du condenseur	Insuffisance de ventilation Arrêt des ventilateurs
Arrêt du compresseur	Faible débit d'eau au niveau de la pompe Manque d'huile au niveau du compresseur Faible débit du réfrigérant
Courroie coupée	Poulies mal dressées ou cassées
Arrêt du ventilo-convecteur	Manque de turbine Manque de moteur Fusible grillé dû à la baisse de tension

Comment réduire l'impact de ces défauts

En faisant appel à un autre outil d'analyse nous allons essayer de réduire le maximum de ces défauts.

L'AMDEC est une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. C'est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système.

La mise en œuvre de l'AMDEC comporte :

- Une phase préliminaire, pour définir les limites de l'étude et constituer le groupe de travail ;
- L'analyse des défaillances : qui se fait par la détermination des modes de défaillances, la recherche des causes et l'inventaire des effets ;
- Le calcul de la criticité.

La gravité des conséquences d'une défaillance se mesure par la prise en compte de la fréquence d'apparition des défaillances caractérisée par un taux de défaillance, de la probabilité de non détection des causes de défaillances et enfin de la gravité des effets de la défaillance par rapport à la sécurité des personnes et des biens, ou par rapport aux coûts de

défaillance (voir en Annexe 7).

A chaque critère est associé un coefficient dans une échelle de valeurs préalablement établie :

- Fréquence : coefficient **F**
- Gravité : coefficient **G**
- Non détection : coefficient **D**

En appliquant l'outil d'analyse AMDEC, le nombre d'arrêt diminue, ce qui entraîne la diminution du taux de défaillance et l'augmentation du MTBF qui est l'inverse du taux de défaillance. La comparaison de ces indicateurs de fiabilité est résumée dans le tableau ci-dessous (Tableau 13).

Tableau 13 : Comparaison des indicateurs de fiabilité

	Avant AMDEC	Après AMDEC
Nombre d'arrêt	150	42
Nombre total d'heures de fonctionnement	8760	8760
λ	0,017	0,005
MTBF en heure	58,4	208,57

Conclusion

L'application de l'outil d'analyse AMDEC donne une moyenne de temps de bon fonctionnement de 208,57 heures au lieu de 58,4 heures, soit 150,17 heures de production en plus. Plus le système de climatisation fonctionne sans arrêt mieux est le conditionnement des locaux de la banque et une satisfaction du client.

Le nombre d'arrêt étant réduit à 42. Ce qui améliore la disponibilité et la pérennité des équipements afin d'assurer le confort des occupants, donc la satisfaction du client et de permettre à Bouygues de ne pas perdre son contrat avec la BEAC.

Avant AMDEC : $\lambda=0,017$ (compris entre 0,01 et 0,02) ce qui revient à dire que le contrôle est mal adapté. La probabilité de ne pas détecter le défaut est élevée.

Après AMDEC : $\lambda=0,005$ (compris entre 0,002 et 0,005) ce qui revient à dire que le contrôle est assez acceptable. La probabilité de ne pas détecter le défaut est faible.

Calcul des équipements qui resteront en service après la neuvième et la dixième année de service

Si on a une population au début de l'observation de N_0 et un taux de défaillance γ . Après un temps t , les équipements sont défaillants et d'autres continuent de fonctionner (FGAIER, 2003).

Le taux de défaillance ici noté γ et la fiabilité à l'instant t sont calculés par les formules suivantes :

$$\gamma = \lambda * \text{nombre total des équipements} \quad (3)$$

$$R(t) = e^{-\gamma t} \quad (4)$$

Le calcul des équipements qui continueront de fonctionner après un temps t de service est donné par la formule suivante :

$$\text{Survivants au temps } t = R(t) * \text{nombre total des équipements} \quad (5)$$

Avec le taux de défaillance $\lambda=0,017$ constant pour tous les équipements (avant AMDEC) et $\lambda=0,005$ constant pour tous les équipements (après AMDEC), les résultats de calcul du nombre des équipements qui resteront en service après la neuvième et la dixième année de service sont présentés dans le Tableau 14.

La formule générale de calcul du nombre des équipements défaillants (N_{ed}) est :

$$N_{ed}(t_2) = \text{survivants}(t_1) - \text{survivants}(t_2) \quad (6)$$

Dans notre cas $t_1 =$ l'année 9 ou la neuvième année et $t_2 =$ l'année 10 ou la dixième année.

Tableau 14 : Nombre des équipements qui resteront en service après 9 et 10ans de service

	Avant AMDEC			Après AMDEC		
	CTA	Pompes à eau glacée	Ventilo-convecteur	CTA	Pompes à eau glacée	Ventilo-convecteur
Nombre total	13	17	133	13	17	133
Fiabilité à l'an 10 ou R(10)	0,84	0,84	0,84	0,95	0,95	0,95
Survivants an 10	11	14	112	12	16	126
Fiabilité à l'an 9 ou R(9)	0,86	0,86	0,86	0,96	0,96	0,96
Survivants an 9	11	14	114	12	16	127
Nombre des équipements défailants après 10 ans	0	0	2	0	0	1

V. ETUDE ECONOMIQUE

Mettre en place un plan de maintenance nécessite de faire une estimation financière sur chaque coût lié à la maintenance et vise à réduire ceux-ci. Le suivi des coûts relatifs à la maintenance nécessite la mise en place d'une comptabilité adéquate et la connaissance de certains éléments, notamment (FGAIER, 2003):

- ✓ **Le calcul des coûts directs** : Les temps passés, les taux horaires des intervenants, les pièces et équipements de rechanges;
- ✓ **Le calcul des coûts indirects** : Les temps d'indisponibilité des équipements et leurs motifs, les pertes de production engendrées par ces arrêts, les coûts d'amortissement des équipements.

V.1 Les coûts directs de maintenance

Les coûts directs sont relatifs à l'opération du département de maintenance.

1. Coût en main d'œuvre

Ces coûts sont le produit du temps travaillé x le taux horaire. Les taux horaires sont fournis par le service de comptabilité de l'entreprise et représente le salaire horaire et l'ensemble des bénéfices marginaux du niveau d'emploi. Le coût de la main d'œuvre est estimé à deux cent cinquante mille franc CFA (**250.000FCFA**) pour un technicien par mois.

2. Coût de possession des stocks, outils et équipements

Ces coûts proviennent de l'amortissement selon les règles comptables. On y inclut également les pertes et la dépréciation dues au stockage ainsi que les frais de magasin.

3. Consommation de matières, fournitures, équipements et produits

Ces frais comprennent le prix de traiter une commande, le prix d'achat ainsi que le transport, dédouanement, taxes. L'estimation des coûts de consommation des équipements de climatisation à eau glacée de la BEAC est représentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 15).

4. Coût des contrats de maintenance

Le coût de contrat de maintenance entre la Banque des Etats de l'Afrique Centrale et Bouygues E&S est de trois millions de francs CFA (**3.000.000 FCFA**) par mois.

V.2 Les coûts indirects de maintenance

Les coûts indirects de maintenance sont généralement reliés à l'arrêt de production ou à la non-qualité de la production. Ces coûts sont :

- ✓ Coûts des produits non fabriqués, matières premières, pertes de qualité, rejets ;
- ✓ Coût de main d'œuvre inactive ;

- ✓ Coûts d'amortissement du matériel immobilisé ;
- ✓ Coûts de non-performance : pénalités de retard, perte de clients, mauvaise image.

Dans notre cas, nous ne pouvons pas évaluer ces coûts car il s'agit des équipements de production de froid pour le confort. L'arrêt du système de climatisation entraîne l'inconfort des occupants (manque de froid dans les locaux), cela donne une mauvaise image de Bouygues auprès de la BEAC et ce qui risquerait de causer la rupture du contrat entre Bouygues et la BEAC.

Tableau 15 : Estimation des coûts de consommation de matières

Equipements	Quantité	Coût unitaire en €	Coût total en €
Groupe Froid	4	55440	221760
Pompe à eau glacée	17	1302,58	22143,86
CTA	13	26972	350636
Ventilo-convecteurs	133	703,65	93585,45
TOTAL			688125,31

Le tableau ci-dessous (Tableau 16) illustre le calcul du coût de la maintenance pour l'ancienne politique de maintenance (ou avant AMDEC) et pour la nouvelle politique de maintenance (ou après AMDEC).

Connaissant le nombre d'équipements ou de pièces remplacées durant 5mois, la détermination du nombre de ces équipements remplacés durant une année est faite en appliquant la règle de trois (Tableau 22). La connaissance du nombre de ces équipements et des prix de chaque équipement permet de calculer le coût de ces pièces remplacées.

$$C_M = (C_{HM} * N_{HM}) + \text{coût des pièces remplacées} \quad (7)$$

Tableau 16 : Coût de la maintenance

	Avant AMDEC	Après AMDEC
Coût de l'heure de maintenance en €	75	75
Nombre d'heures de maintenance /an (h/an)	50	14
Coût des pièces remplacées /an en €	180023	91514
Coût de maintenance / an en €	183773	92564
Bénéfice		91209

VI. CONCLUSION

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur la mise en place d'une politique de maintenance du système de climatisation à eau glacée du siège de la Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville. Au terme de cette étude, nous avons pu détecter par la loi de Pareto que le groupe froid et les pompes sont critiques c'est-à-dire qu'ils sont premiers dans le classement des équipements défaillants, ce qui entraîne l'inconfort des occupants de plusieurs bureaux. Nous avons aussi pu réduire le nombre de défaillances en une année à quarante-deux (42 arrêts/an) au lieu de cent cinquante (150 arrêts/an) avec l'outil d'analyse AMDEC.

Il en ressort que la réduction de ces défaillances sur le système de climatisation à eau glacée, permet aussi la réduction du coût de maintenance et contribue largement à la satisfaction de façon convenable de la demande de climatisation. Nous espérons par ailleurs que les recommandations élaborées aideront l'entreprise Bouygues Energies et Services qui a en charge la maintenance de ce système, à mieux axer ces interventions actuelles et futures. Cependant, l'observation des recommandations faites devrait renforcer la performance du système de climatisation à eau glacée et permettre d'atteindre les objectifs en termes de pérennité et de disponibilité. Ce qui nous permettra d'avoir un bénéfice de quatre-vingt-onze mille deux cent neuf euro (91 209 €) sur le coût de la maintenance en une année.

VII. RECOMMANDATION-PERSPECTIVES

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 et à la disponibilité du système de climatisation à eau glacée de la Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville, nous proposons un certain nombre de recommandations :

R.1 : Mettre en place des pancartes et des affiches de sensibilisation à l'hygiène du local technique et des ventilo-convecteurs, sur lesquelles on notera : Gardons le local technique propre, interdit de laisser des feuilles, des livres ou d'autres choses sur les grilles d'aération des ventilo-convecteurs.

Cette mesure qui devra aider de garder le local propre et les ventilo-convecteurs en bon état, permettra de réduire considérablement l'insalubrité du local et d'augmenter l'air (le froid) dans les bureaux.

R.2 : Réaliser un contrôle auditif hebdomadaire de cavitation et de bruits de paliers des pompes à eau glacée et faire des visites chaque matin afin de remplir la fiche de surveillance.

Cette mesure permettra de vérifier l'état des pompes.

Tableau 17 : Fiche de surveillance des pompes à eau glacée

Numéro de la Pompe à eau glacée	Date	Heure	Equipements	Degré d'appréciation	
				Rien à signaler	Défaut signalé
			Moteur		
			Accouplement		
			Pompe		

R.3 : Suivre mensuellement les ventilateurs du groupe froid suivant la fiche établie à cet effet (voir Annexe 8)

L'observation de cette recommandation nous permettra de suivre l'état des ventilateurs du groupe froid afin de pallier à certaines anomalies telles que : connexions mal serrées, calibre des disjoncteurs, ... etc.

R.4 : Faire des visites chaque matin des CTA et du groupe froid en remplissant la fiche de surveillance

Cette recommandation permettra de vérifier l'état des CTA et du groupe froid

Tableau 18 : Fiche de surveillance des CTA et groupe froid

	Date	Heure	Equipements	Degré d'appréciation	
				Rien à signaler	Défaut signalé
Courroie			CTA1		
Turbine					
Moteur					
Courroie			CTA2		
Turbine					
Moteur					
Compresseur			Groupe froid		
Condenseur					
Détendeur					
Evaporateur					

R.5 : Réaliser la lecture de la pression d'aspiration et la pression de refoulement du compresseur

Cette recommandation nous permettra de vérifier, si la pression d'aspiration est trop basse, la température d'eau glacée, la présence d'air dans le circuit d'eau glacée et vérifier, si la pression de refoulement est trop élevée, le sens de rotation des ventilateurs du condenseur du groupe froid. Lorsque l'on remarque qu'une valeur s'écarte de la valeur normale et se rapproche du seuil de sécurité, il faut se référer au tableau 20.

R.6 : Mettre en place l'historique de tous les équipements

Cette recommandation nous permettra de mieux analyser les défaillances.

R.7 : Etablir et exécuter à la lettre la fiche de contrôle hebdomadaire pour l'entretien du groupe froid

Tableau 19 : Fiche de contrôle hebdomadaire du groupe froid

Nom du technicien.....			
Qualification.....			
Date.....			
Référence du groupe froid.....			
<u>Opérations à effectuer</u>		C	NC
Contrôle visuel (trace d'huile ou d'eau sous, ou autour de l'appareil)			
Contrôle visuel de la pression d'aspiration compresseur BP			
Contrôle visuel de refoulement compresseur HP			
Contrôle des températures d'entrées et de sorties d'eau au niveau des échangeurs			
Vérification de la charge au niveau du voyant liquide et l'état de la charge à l'aide d'indicateur coloré du voyant			
Contrôler l'étanchéité des réseaux d'eau glacée			
Contrôle auditive de l'ensemble de l'installation			
Vérifier la qualité d'huile			
Vérifier le fonctionnement des organes de sécurité			
<u>Observations générales</u>			

Cette recommandation est importante dans la mesure où elle nous permettra de surveiller l'état de la charge du fluide frigorigène, vérifier la qualité d'huile, contrôler la pression d'aspiration et de refoulement du compresseur et vérifier des organes de sécurité du groupe froid.

Les relevés, régulièrement effectués doivent permettre de prévoir des déclenchements futurs. Lorsque l'on remarque qu'une grandeur s'écarte de la valeur normale et se rapproche progressivement du seuil de sécurité, il faut procéder aux vérifications indiquées dans le tableau 20.

Tableau 20 : Anomalies, causes et remèdes

ANOMALIES	CAUSES PROBABLES	REMEDES
Pression d'aspiration trop basse	Présence d'air dans le circuit d'eau glacée	Purger le circuit d'eau glacée
	Débit d'eau glacée insuffisant	Vérifier l'ouverture des vannes du circuit d'eau glacée
	Débit d'eau glacée suffisant mais température d'eau glacée trop basse	Vérifier le fonctionnement du régulateur
	Manque de fluide frigorigène	Rechercher la (les) fuite(s) et effectuer un complément de charge
Pression de refoulement trop élevé	Ventilation incorrecte	Vérifier le sens de rotation des ventilateurs
	Condenseur encrassé	Nettoyer la batterie afin d'optimiser son fonctionnement
	Excès de charge de fluide frigorigène	Contrôler et ajuster la charge
Température de refoulement trop basse et proche de la température de condensation	Le compresseur aspire du liquide en quantité trop importante	Vérifier et ajuster la charge de réfrigérant Contrôler le détendeur
Défaut débit d'eau	Absence de débit d'eau ou débit inférieur au débit mini	Vérifier l'ouverture des vannes du circuit d'eau et contrôler la (les) pompe(s)
Niveau d'huile trop bas	Appoints non effectués après intervention	Faire un complément de charge d'huile
Défaut bobinage moteur	Démarrages trop rapprochés anti-court cycle dérégulé	Régler le temps correct entre deux démarrages
	Tension d'alimentation trop basse	Contrôler l'installation électrique et contacter

		éventuellement le fournisseur de courant
Température de fluide froid trop élevé	Avec une BP supérieure à la normale	
	Point de consigne du régulateur dérégulé	Corriger la valeur de la consigne
	Débit d'eau trop important	Ajuster le débit d'eau à la valeur prévue à l'aide de la vanne de réglage
	Avec une BP inférieure à la normale	
	Manque de fluide frigorigène	Effectuer une recherche de fuite et procéder au complément de charge
	Mauvaise alimentation de l'évaporateur en fluide frigorigène	S'assurer que le filtre deshydrateur ne soit pas encrassé et que l'évaporateur ne soit pas gelé

BIBLIOGRAPHIE

AMANI, François. 2012. *Mise en place d'une politique de maintenance des groupes de production d'eau glacée, cas de la SOTACI.* Ouagadougou : 2iE, 2012. Mémoire pour l'obtention du Master en Energie et Génie des Procédés Industriels.

Belhomme. 2010-2011. Cours sur la stratégie de maintenance. *Cours sur la stratégie de maintenance.* Paris : Forges des eaux, 2010-2011, pp. 30-32.

Bouygues. 2015. *Présentation de l'entreprise Bouygues E&S Congo.* Paris : Bouygues, 2015.

CIAT. 2015. *Groupes de production d'eau glacée et pompes à chaleur.* Paris : s.n., 2015.

ClimatisationCent. 2015. Principe de fonctionnement d'une installation de climatisation centralisée. *Wikipédia.* [En ligne] dimanche Décembre 2015. [Citation : dimanche Décembre 2015.] <http://www.wikipédia.com>.

FGAIER, Abdelaziz. 2003. *Cours de fiabilité et maintenance.* [Cours] Ouagadougou : 2iE, 2003.

Groupe, EG. 2015. Fonctionnement de l'évaporateur à eau glacée. *google.* [En ligne] Samedi Septembre 2015. [Citation : Samedi Septembre 2015.] www.google.com.

HENG, Jean. 2002. *Pratique de la maintenance.* Paris : DUNOD, 2002.

HOUNGNIGNOU, Erik. 2010. *Etude du système de climatisation Volume Réfrigérant Variable (VRV) pour le siège de l'UEMOA à Ouagadougou.* Ouagadougou : 2iE, 2010. Mémoire pour l'obtention du Master en Génie Energétique.

Jérémie, Llaurens. 2011. *Mise en place d'une politique de maintenance preventive sur un site de production pharmaceutiques.* Paris : dumas, 2011.

ORLODRIMBOT. 2015. Loi exponentielle. *Wikipédia.* [En ligne] 2015. www.wikipédia.org.

Powerciat. 2005. *Installation, fonctionnement et maintenance du groupe d'eau glacée.* Paris : Powerciat N°01-60E, 2005.

POWERCIAT. 2013. *Installation, fonctionnement et maintenance du groupe d'eau glacée.* Paris : Powerciat N°01-67E, 2013.

SEMPORE, Francis. 2013. *Cours procédés frigorifiques.* [Cours] Ouagadougou : 2iE, 2013.

SIDIBE, Sayon. 2014. *Cours conditionnement d'air.* [Cours] Ouagadougou : 2iE, 2014.

ANNEXES

Annexe 1: La Banque des Etats de l'Afrique Centrale de Brazzaville



Annexe 2: Centrale à eau glacée



Condenseur

Compresseur

Annexe 3 : Canalisation aller-retour d'eau glacée



Annexe 4 : Centrale de Traitement d'Air (CTA)



Annexe 5: Plaque signalétique du groupe froid à eau glacée

Réf. Produit / Item Nbr : 3025288.375378	
Désignation/ Description	LD 1800BV STD R410A
An/year : 2015 ; No série/ serial Nbr No produit	02307315/0001
Réfrigérant : R410 A ; Réfrigérant Kg	70
KW Absorbée/ input KW	168.4 KW
Poids/ Weight : 4690 Kg ; Tension/ Voltage	3 50Hz 400V
Température maxi	50°C
BP/LP Mini PSM/ MOP	2.5 Bar/ 29.5 Bar
Intensité/ Current	390 A
HP maxi PSM/ MOP	42 Bar / 42 Bar
IP : 44 No CE	0060
CIAT 30, Av Jean Falconnier 01350 Culoz Tel : 33(0)479 42 42 42 www.ciat.com	CE Made in France

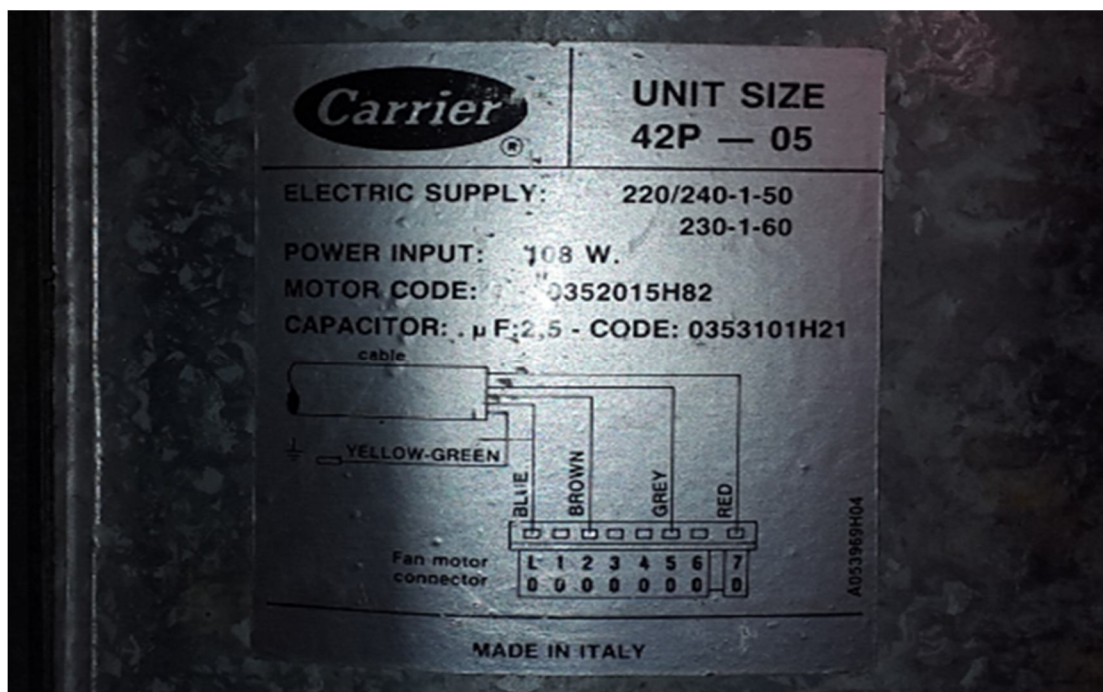


Photo 3 : Références techniques du ventilo-convecteur

Annexe 6: Plaque signalétique de la Centrale de Traitement d'Air (CTA)



Annexe 7: AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur criticité)

Analyse des défaillances et calcul de criticité

FRÉQUENCE = F		NON DÉTECTION = D		GRAVITÉ = G	
1	1 défaillance par an	1	détection par l'opérateur	1	pas d'arrêt de production
2	1 défaillance par trimestre	2	détection par le technicien	2	arrêt inférieur à 1 heures
3	1 défaillance par mois	3	détection difficile	3	arrêt entre 1 heure et 8 heures
4	1 défaillance par semaine	4	indécelable	4	arrêt supérieur à 1 jour

Système ou élément	Défaillance			Criticité = C				Actions à entreprendre	Évolution prévisible			
	modos	effets	causes	F	D	G	C = FxDxG		F	D	G	C = FxDxG
CTA	Manque de courroie	Courroie coupée	Poulie mal dressée	4	3	4	48	Vérification et dressage de la poulie	2	2	1	4
Groupe froid	Manque de production du froid	Arrêt du compresseur et du condenseur	Faible débit d'eau et manque de ventilateurs	4	3	2	24	Installation du ballon tampon et remplacement des ventilateurs	1	2	1	2
Pompe à eau glacée	Manque d'eau	Arrêt des pompes à eau glacée	Faible débit d'eau	4	3	2	24	Installation d'un ballon tampon	2	2	1	4
Ventilo-convecteur	Manque de production du froid	Arrêt des ventilo-convecteurs	Tension d'alimentation trop basse	3	2	2	12	Installation d'un régulateur de tension	1	2	1	2

Cette analyse, si elle était menée dans l'entreprise, devrait se faire avec tous les intervenants à savoir :

- Personnel connaissant le système (décomposition et analyse fonctionnelle)
- Personnel connaissant la démarche AMDEC
- Personnel de maintenance
- Personnel de production
- Et bien sur une information sur les coûts de maintenance de la machine analysée

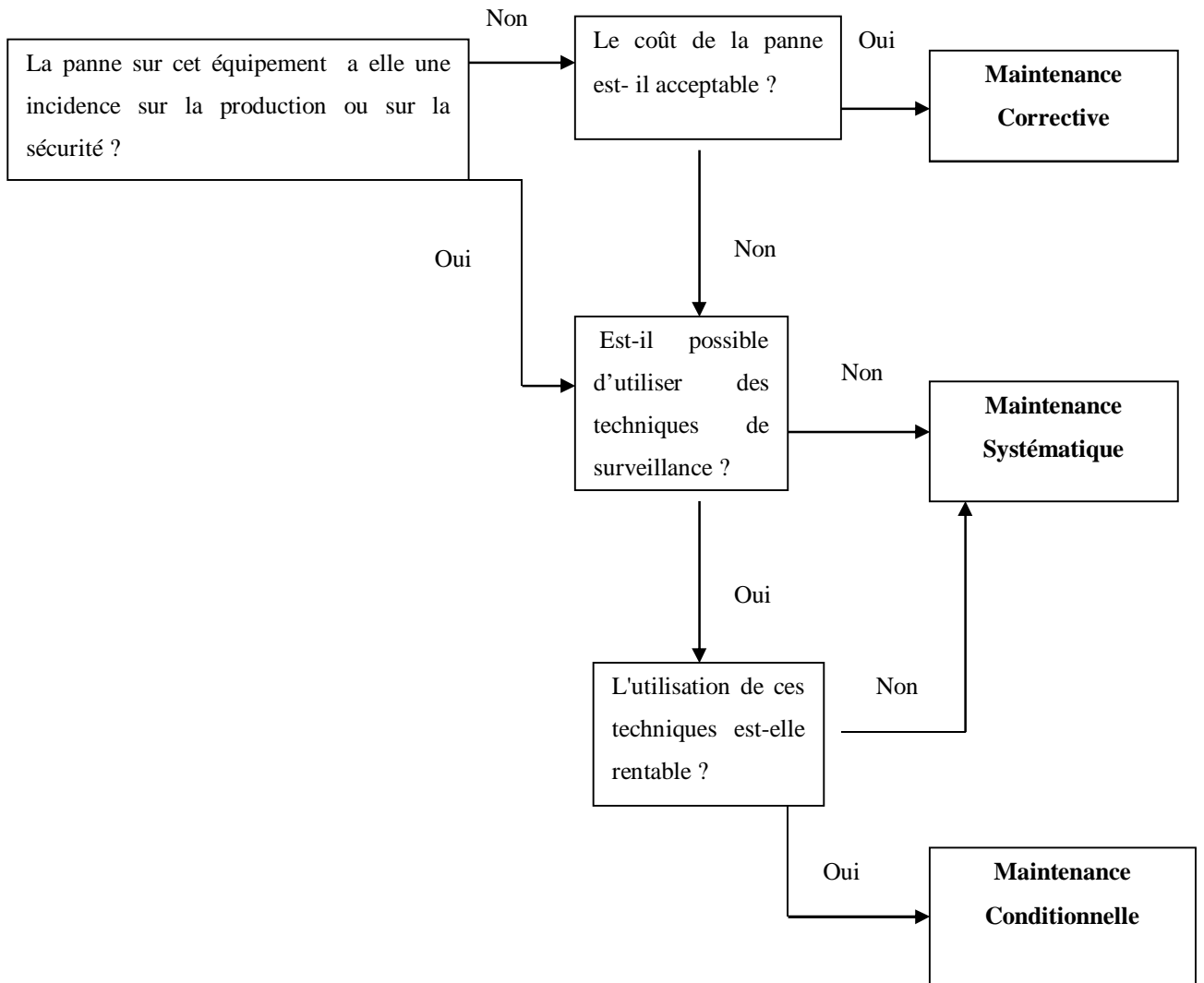


Figure 15 : Choix du type de maintenance

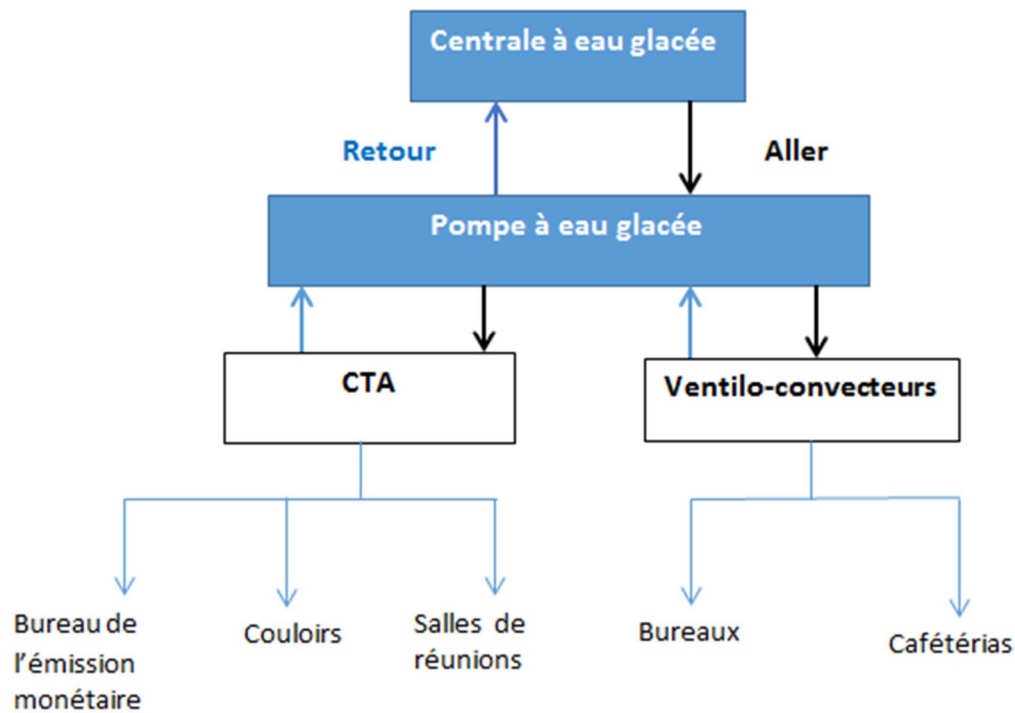


Figure 16 : Synoptique de climatisation de la BEAC de Brazzaville

Annexe 8: Fiche de suivi mensuel des ventilateurs du groupe froid

Mois.....

Ventilateur.....

Caractéristique du ventilateur				Etat de fonctionnement (A l'arrêt/en marche)	Défaut signalé (oui/non)	Température de l'air ambiant (°C) aspiré par le ventilateur	Température de l'air refoulé (°C) par le ventilateur
Nbre de tour/min	Tension (V)	Intensité (A)	Puissance (W)				

Tableau 21 : Gamme de maintenance préventive du CTA

Gamme de maintenance préventive Centrale de Traitement d'Air (CTA)	CVC	CTA
	n° version	
	date de révision	
	Gamme n°	

Libellé opération	Périodicité						Niveau de compétence	Observations - Outillage spécifique - Pièces détachées	Temps moyen requis (heure)
	H	M	T	S	A	autres			
Centrale de traitement d'air (CTA)									
Contrôler l'étanchéité de la centrale (portes, panneaux, joints...)					O		T		0,5
Contrôler les pertes de charge des filtres (les remplacer si nécessaire)		O					T		0,2
Contrôler l'intégrité des filtres hors filtre absolu à haute efficacité pour les particules aériennes (HEPA)				O			T		0,5
Remplacer les pré-filtres			O				T		1
Contrôler l'état et la tension des courroies			O				T		1
Réaliser un contrôle auditif des roulements et courroies	O						T		0,2

Contrôler et graisser les paliers et roulements				O			T		0,2
Contrôler l'alignement des poulies				O			T		1
Mesurer les intensités				O			T		0,2
Contrôler les sécurités, les asservissements et les alarmes				O			T		1
Mesurer des débits					O		T		0,5
Contrôler les thermostats antigel			O				T		0,5
Contrôler la régulation, les vannes 3 voies (V3V) et les registres					O		T		0,5
Contrôler les manchettes souples					O		T		0,2
Nettoyer et désinfecter les caissons					O		T		1
Manœuvrer les vannes d'isolement					O		T		0,2
Resserrer les connexions électriques					O		T		0,5
Contrôler l'écoulement des bacs à condensats et nettoyer et amorcer les siphons si nécessaire			O				T		0,5
Batteries froides chaudes et récupérateur de chaleur									
Contrôler l'état (empoussièrement, corrosion, étanchéité)				O			T		0,2
Contrôler les températures amont et aval				O			T		0,2

Vérifier le fonctionnement de la pompe de circulation des batteries de récupération				O			T		0,2
Vérifier la teneur en antigel des réseaux de récupération					O		T		0,5
Nettoyer, détartrer et désembouer					O		T		0,1
Armoires électriques/Tableaux divisionnaires									
Réaliser un contrôle visuel	O						T	voir gamme de maintenance tableau divisionnaire	0,2
Nettoyer l'armoire					O		T		0,5
Contrôler les connexions électriques					O		T		0,5
Vérifier les cohérences des thermiques					O		T		0,5
Contrôler les liaisons équipotentielles de terre					X		T		0,2
Vérifier la régulation					O		T		0,5
Mettre à jour le carnet de maintenance et/ou la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)						O	-	après chaque intervention	0,5
Procéder au nettoyage de la zone d'intervention						O	-	après chaque intervention	1
Observations générales (sécurité, accès, environnement) :									

T : Technicien ; H : Hebdomadaire
M : Mensuel ; T : Trimestriel
S : Semestriel ; A : Annuel

Tableau 22 : Liste des équipements remplacés

Equipements	En 5mois	En 12 mois
Voyant	3	7
Deshydrateur	2	5
Courroie	10	24
Moteur du CTA	4	10
Pompe	3	7
Ventilo-convecteur (Moteur +turbine)	5	12
Détendeur	1	2

Tableau 23 : Nombre des équipements à garder en stock

	Equipements	Quantité	Coût unitaire en €	Coût total en €
Groupe froid	Compresseur	6	13860	83160
	Condenseur	1	13789	13789
	Deshydrateur (Filtre à tamis)	2	137	274
	Voyant liquide	1	77	77
	Détendeur	1	13789	13789
	Evaporateur	1	13789	13789
Pompe à eau glacée	Pompe	3	1302,55	3907,65
CTA	Filtre	4	500	2000
	Courroie	10	100	1000
	Moteur	5	13186	65930
	Turbine	10	13186	131860
Ventilo-convecteur	Filtre	4	50	200
	Moteur	10	653,65	6536,5
	Turbine			

GLOSSAIRE

Calorie : L'unité de mesure de la quantité de chaleur (symbole cal), équivalent à la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température d'un (1) gramme d'eau à 15°C sous la pression atmosphérique normale, et qui vaut 4,185 joules.

Chaleur : Est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée).

Frigorie : Ancienne unité de mesure de quantité de chaleur enlevée (symbole fg), valant 4185,5 joules.

Interstices : Petit espace vide entre les parties de quelque chose.

Plan de maintenance : Selon la norme NF X 60-010, c'est « un document énonçant les modes opératoires, les ressources et la séquence des activités liées à la maintenance d'un bien ». Ce document est établi dans une phase d'analyse et de conception de la maintenance à effectuer sur un matériel.

L'inspection : C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut se faire avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

La surveillance : C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien. La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

La réparation : Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

Le dépannage : Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

La révision : Ensemble complet d'exams et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

La reconstruction : Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approche à la fin de leur durée de vie utile et /ou devraient être systématiquement remplacés. Elle diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ ou des améliorations. Son objectif est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine.

L'amélioration : Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinée à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.