

EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE

TOME 2 :
EXPLOITATION
DES INSTALLATIONS EXISTANTES



agence intergouvernementale
de la francophonie



Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie
IEPF



Ministère de la Région wallonne

EFFICACITE ENERGETIQUE
DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE

TOME 2 :
EXPLOITATION
DES INSTALLATIONS EXISTANTES

EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE

TOME 2 :
EXPLOITATION
DES INSTALLATIONS EXISTANTES



agence intergouvernementale
de la francophonie



Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie
IEPF



Ministère de la Région wallonne

ISBN : 2-89481-010-5

Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie
56, rue Saint-Pierre, 3^e étage, Québec (Qué.) G1K 4A1 Canada
Téléphone : (1 418) 692 5727; Télécopie : (1 418) 692 5644
Courriel : iepf@iepf.org
Site Web : <http://www.iepf.org>

PRÉFACE

Dans le cadre des activités de son Programme International de Soutien à la Maîtrise de l'Énergie (PRISME), l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), organe subsidiaire de l'Agence intergouvernementale de la Francophonie, a réalisé un grand nombre de formations sur les audits énergétiques dans les bâtiments, assorties d'études de cas permettant d'évaluer le potentiel d'économies d'énergies dans les pays membres du Sud. Ces études ont permis d'identifier un potentiel variant selon les pays de 30% à 45% d'économies sur la facture énergétique. Toutefois, il apparaît que la majeure partie du potentiel d'économies d'énergie se retrouve dans les installations de climatisation qui représentent plus de 60% des gisements exploitables.

L'édition du guide *Efficacité énergétique de la climatisation des bâtiments en région tropicale* répond donc au souci de mettre l'accent sur le poste de consommation énergétique le plus important dans les bâtiments des pays de la Francophonie du Sud. C'est ainsi que, sous la coordination de MM. Jacques CLAESSENS, Chercheur à l'Université Catholique de Louvain, pour la partie scientifique, et Jean-Pierre NDOUTOUM, Responsable du projet Maîtrise de l'énergie à l'IEPF, pour la partie organisationnelle, une dizaine d'experts, particulièrement choisis pour leur connaissance des installations de climatisation en Afrique, ont participé à la rédaction de cet ouvrage.

Mais au-delà de la réalisation physique de l'ouvrage, l'Institut se propose de mener avec ses partenaires une stratégie globale d'intervention en matière de froid et de climatisation.

Tout d'abord, il faut considérer la version actuelle du guide *Efficacité énergétique de la climatisation des bâtiments en région tropicale* de l'espace francophone comme évolutive. En effet, ce document est également disponible sur le site Internet de l'Institut (www.iepf.org), où il fera l'objet d'une actualisation régulière, intégrant les nouvelles contributions d'autres spécialistes de ces questions. Lorsque les changements seront jugés suffisants, une seconde version de l'ouvrage pourra être éditée.

Ensuite, la structure du Tome I, traitant de la *conception des nouveaux bâtiments* conduit logiquement à l'élaboration d'une réglementation thermique minimale de la conception des bâtiments et des systèmes qui fait actuellement l'objet d'une réflexion à l'Institut. De plus, l'approche proposée pour l'amélioration de *l'exploitation des installations existantes* (Tome II) intègre un programme de formation continue des techniciens. Cette formation, domiciliée dans un centre de formation du Sud, permettra à l'Institut de mettre au point et de valider un label « qualité énergétique » pour les formations sur la climatisation.

Enfin, l'Institut s'attachera à promouvoir la réalisation de projets de terrain permettant d'évaluer le contenu et les participants aux formations. Il est entendu que l'objectif principal – la réalisation des économies d'énergie – ne saura être atteint que lorsque les barrières techniques, institutionnelles et financières à la mise en œuvre de projets auront été levées. À cet égard, PRISME développe plusieurs approches, en particulier la mobilisation de partenariats, la recherche de financements et la promotion des entreprises et bureaux d'études spécialisés dans les services éco-énergétiques.

Je ne saurais terminer mon propos sans adresser mes plus vifs remerciements à tous les rédacteurs, à leurs institutions respectives et au Ministère de la Région Wallonne dont la contribution a permis de concrétiser l'initiative. Je formule le vœu que cet ouvrage puisse non seulement servir d'outil aux acteurs du secteur, mais également susciter des vocations, dans la jeune génération, pour les métiers émergents de l'énergie.

EI Habib BENESSAHRAOUI
Directeur exécutif de l'IEPF

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le guide *Efficacité énergétique de la climatisation des bâtiments en région tropicale* se présente sous la forme de deux Tomes complémentaires :

- Le Tome I intitulé *Conception des nouveaux bâtiments* est consacré aux évaluations des bilans thermiques, des coûts globaux d'exploitation du bâtiment, au dimensionnement et au choix d'un système de climatisation. Il répond à une préoccupation qui mériterait d'être mieux prise en compte dans nos pays membres : comment tenir compte de la consommation d'énergie *avant* la construction du bâtiment.
- Le Tome II, qui traite de *l'Exploitation des installations existantes*, aborde les différentes interventions que l'on peut réaliser pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. Il présente donc l'approche technique traditionnelle, tout en introduisant le concept novateur de contrat de performance énergétique dans la maintenance du bâtiment.

La réalisation de cet ouvrage tient d'un pari à multiples facettes :

D'abord un pari sur la mobilisation de l'expertise : les dix experts francophones qui ont contribué à la rédaction de cet ouvrage sont originaires de cinq pays différents (Région wallonne de Belgique, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Sénégal) et exercent des professions différentes (Enseignants, Chercheurs, Directeur technique, Responsable technico-commercial, Consultants...). Il a nous donc fallu trouver, malgré cette diversité d'expériences et de pôles d'intérêt, la nécessaire convergence pour garantir la cohérence d'ensemble.

De plus, la forte représentation des experts africains constitue pour nous un des facteurs de succès de l'action du Programme international de Soutien à la Maîtrise de l'Énergie (PRISME) dont l'un des objectifs consiste en l'implication de plus en plus poussée des acteurs et opérateurs du Sud.

Nous avons ensuite dû tenir un pari technologique : l'ensemble de l'ouvrage a été rédigé en utilisant les nouvelles technologies de l'information et de la communication, c'est-à-dire par le truchement d'un site Internet où chaque rédacteur, depuis son ordinateur, venait déposer sa contribution qui pouvait être alors relue et amendée par un autre rédacteur. Cette procédure n'a d'ailleurs pas été sans mal, vu les difficultés d'accès en Afrique, souvent liées à des problèmes de disponibilité du réseau ou de vitesse de transfert des données.

Le dernier pari, et sans doute le plus important, tient au contenu même du guide. En effet, si on peut, trouver dans la littérature un certain nombre d'ouvrages traitant de l'efficacité énergétique dans la climatisation, force est de reconnaître que la plupart de ces documents ne font que très peu ressortir les spécificités liées à la conception et l'exploitation des installations *en climat tropical*, c'est-à-dire dans la majorité de nos pays membres. C'est un pari que nous estimons partiellement gagné, tant il est vrai que les versions ultérieures du présent guide gagneront à approfondir cette composante.

Par ailleurs, et malgré la diversité des *climats tropicaux*, nous avons décidé de ne réaliser qu'un seul guide, en y intégrant au besoin les spécificités climatiques au sein des différents chapitres. Les zones climatiques retenues ont été précisées par quelques villes. À titre d'exemple : climat tropical humide à Douala, Abidjan, Cotonou et Lomé ; climat tropical sec à Bamako, Garoma et Korhogo ; climat désertique à Niamey, Ndjamena et Ouagadougou ; climat littoral à Dakar.

En outre, et dans un souci de simplification, les tomes I (*Conception des nouveaux bâtiments*) et II (*Exploitation des installations existantes*) de l'ouvrage ne traitent que du cas des bâtiments du secteur tertiaire (immeubles de bureaux, commerces, hôtels...) et n'abordent ni le secteur industriel ni le secteur résidentiel. C'est également dans cet esprit que la problématique des chambres frigorifiques (froid industriel) n'a pas été abordée et fera l'objet d'un traitement ultérieur.

Voilà donc brièvement présenté le guide *Efficacité énergétique de la climatisation des bâtiments en région tropicale*. Pour l'Institut, cet ouvrage ne constitue qu'un premier pas vers une définition plus fine du type d'intervention à réaliser dans les pays membres du Sud. Nous restons donc ouverts à toutes les critiques et suggestions pour pouvoir, ensemble, améliorer notre action.

Jean -Pierre NDOUTOUM
Responsable du projet Maîtrise de l'énergie
IEPF

TABLE DES MATIERES

Tome I : Conception des nouveaux bâtiments

1. Une méthode de calcul simplifiée du bilan thermique climatisation en climat tropical	1
2. L'évaluation des coûts globaux d'exploitation	37
3. Le choix des systèmes de climatisation : critères généraux	53
4. Le choix d'un climatiseur de local	65
5. Le choix d'une climatisation centralisée	93
6. La conception thermique des bâtiments climatisés : critères de performance	141

Tome II : exploitation des installations existantes

1. Le diagnostic global d'une installation de climatisation	1
2. L'amélioration d'un climatiseur	23
3. L'amélioration d'une installation de climatisation centralisée	57
4. L'amélioration de la machine frigorifique associée	77
5. Un contrat de maintenance avec clause "énergie"	105
6. Vers une réglementation thermique minimale de l'exploitation des bâtiments et des systèmes	117

EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION DES BATIMENTS EN PAYS TROPICAL

TOME 2 : EXPLOITATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES

Ont participé à la rédaction de cet ouvrage :

Jacques CLAESSENS	Chercheur à l'Université Catholique de Louvain, Région Wallonne
Yézouma COULIBALY	Professeur d'énergétique à l'EIER, Chef du département IEGS (Infrastructure, Energie et Génie Sanitaire)
Thomas DJIAKO	Professeur d'énergétique à l'EIER
Moïse GNAMKE	Directeur des équipements techniques LBTP (Laboratoire des Bâtiments et des Travaux Publics), Côte d'Ivoire
Abraham KANMOGNE	Enseignant à l'ENSP (Ecole Nationale Supérieure Polytechnique) de Yaoundé, Cameroun
Alexis KEMAJOU	Ingénieur Conseil SOFRICAM International, Cameroun
Mamadou J. KONE	Energéticien, Coordonnateur de projet environnement-énergie-construction, UNDP/UNOPS
Arame NDIAYE	Responsable du Bureau d'Etude à DAMETAL, Sénégal
Mohamed SAKO KOITA	Energéticien, Enseignant-Chercheur à l'Institut National Polytechnique, Côte d'Ivoire
Dimitris STAMATOUKOS	Responsable technico-commercial dans une entreprise de réfrigération industrielle en Région Wallonne.



agence intergouvernementale
de la francophonie



Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie
IEPF



Ministère de la Région
Wallonne

CHAPITRE 1

LE DIAGNOSTIC GLOBAL D'UNE INSTALLATION DE CLIMATISATION

1.1	QUELS SONT LES SIGNES D'UNE CONSOMMATION EXCESSIVE ?	2
1.1.1	L'enveloppe du bâtiment	2
1.1.2	Le groupe frigorifique	7
1.1.3	La régulation	9
1.1.4	Le déséquilibre du réseau	11
1.2	COMMENT SITUER LA CONSOMMATION ENERGETIQUE D'UN BATIMENT PAR RAPPORT AUX AUTRES BATIMENTS DU SECTEUR ?	13
1.2.1	La température de climatisation	13
1.2.2	La surface des ouvertures	13
1.2.3	Facteur solaire	15
1.2.4	Surfaces opaques	15
1.2.5	Synthèse des signes de consommation énergétique	16
1.3	COMMENT ANALYSER LES INFORMATIONS CONTENUES DANS UNE FACTURE ELECTRIQUE	18
1.3.1	Le facteur de puissance	18
1.3.2	Le dépassement de la puissance souscrite	18
1.3.3	Heures creuses, heures de pointe, heures pleines	19
1.3.4	Analyse des informations contenues sur la facture électrique	20
	LISTE DES SYMBOLES UTILISES	20
	BIBLIOGRAPHIE	21

1.1 QUELS SONT LES SIGNES D'UNE CONSOMMATION EXCESSIVE ?

Les pays africains se caractérisent par un coût d'énergie électrique très élevé. Les raisons sont diverses et changeantes d'un pays à l'autre :

- ◇ Part de l'électricité d'origine thermique trop importante,
- ◇ Péréquation des prix de vente de l'électricité sur l'ensemble du territoire,
- ◇ Faible diversification des sources d'énergie électrique.

En conséquence, les coûts d'exploitation des systèmes consommateurs d'énergie sont également élevés. C'est le cas des bâtiments climatisés. La climatisation y représente souvent la part la plus importante de la consommation électrique du bâtiment. C'est pourquoi, avant de climatiser, il faut d'abord minimiser les apports calorifiques. On y arrive en observant quelques principes de climatisation passive qui doivent être le point de départ de tout projet.

Lorsque le bâtiment est réalisé en dépit de ces principes, il y a malgré tout quelques possibilités de réduction de certains apports calorifiques. Pour des raisons diverses, dans nos pays africains les principes à la base des réductions de gains calorifiques sont souvent négligés. Ces raisons sont :

- ◇ La méconnaissance des principes de climatisation passive,
- ◇ Les habitudes acquises en matière de construction,
- ◇ Les coûts des investissements des mesures à mettre en œuvre trop élevés.

Des règles simples permettent de détecter les consommations excessives d'énergie dans le bâtiment. Deux niveaux d'investigation sont à considérer : l'enveloppe du bâtiment et les installations frigorifiques.

1.1.1 L'enveloppe du bâtiment

Avant toute analyse détaillée de l'enveloppe, il est nécessaire d'avoir un indicateur objectif de cette consommation. Cet indicateur est donné par la consommation spécifique

$$R_o = \frac{\text{Consommation électrique en kWh}}{\text{Surface habitable}}$$

Le facteur R_o représente le rapport de la consommation électrique de l'édifice à sa surface habitable en kWh/m². Un tableau permet de comparer la valeur obtenue pour un cas donné à une valeur standard, donnée dans chaque pays en fonction d'une politique énergétique spécifique. En Afrique francophone, très peu de pays donnent ces valeurs.

Le tableau 1.1 donne quelques valeurs indicatives de la consommation spécifique R_o telles que proposées par le code ivoirien de qualité énergétique du bâtiment.

On définit en fin de compte une consommation énergétique spécifique qui garantit le respect des principes d'économie d'énergie des bâtiments climatisés.

Type d'activité	Indice de consommation	
	Situation médiocre	Référence (objectif du code)
Grand immeuble de bureau	> 275	160
petit immeuble de bureau	> 250	150
Grand hôtel	> 300	180
Hôpital	> 400	250
Centre Commercial	> 300	200
Appartement (dans grand immeuble)	> 200	130

Tableau 1.1 : Valeurs indicatives de quelques indices de consommation de bâtiments climatisés en climat tropical humide R_o [en kWh/m²/an] Source [2]

Les valeurs de ratio proposées ainsi, bien qu'indicatives permettent de limiter de façon appréciable la consommation énergétique des bâtiments climatisés.

Des valeurs anormalement élevées de ce facteur de consommation sont le premier signe d'une consommation excessive d'énergie. L'évaluation des gains calorifiques de l'enveloppe constitue une analyse détaillée de la consommation.

Les gains de chaleur par l'enveloppe sont dus aux parois opaques et aux ouvertures. Ils proviennent de différents défauts que nous allons analyser à travers les trois sous-chapitres suivants.

1.1.1.1 L'isolation thermique.

Les parois opaques laissent passer la chaleur vers les pièces par conduction. La formule qui régie ce transfert est

$$Q = \sum k S (T_e - T_i)$$

- k = coefficient global d'échange
- T_e et T_i = températures externe et interne au local considéré.

Le coefficient d'échange global k qui intervient dans cette formule traduit la facilité plus ou moins grande avec laquelle la chaleur traverse le mur. Il est fonction de l'échange de chaleur par convection à la surface du mur mais aussi de la conduction dans la masse même du mur.

Lorsque l'isolation thermique des murs est insuffisante le coefficient k est élevé et les flux de chaleur à travers les murs sont importants. C'est en général le cas lorsque les murs du bâtiment sont peu épais. Les murs en parpaing de 15 cm, malheureusement trop répandus en Afrique, rentrent dans cette catégorie.

Les valeurs de coefficients d'échange maximaux admissibles sont de :

- ◇ kv = 6 W / m².K pour les vitrages,
- ◇ km = 3 W / m².K pour les murs.



Figure 1.1 Pose de panneaux de chanvre

1.1.1.2 Les ouvertures

La surface et le nombre des ouvertures peut aussi être une source de gains calorifiques trop importants par l'enveloppe. Quand le bâtiment existe, il n'est pas toujours facile de remédier à cette difficulté.

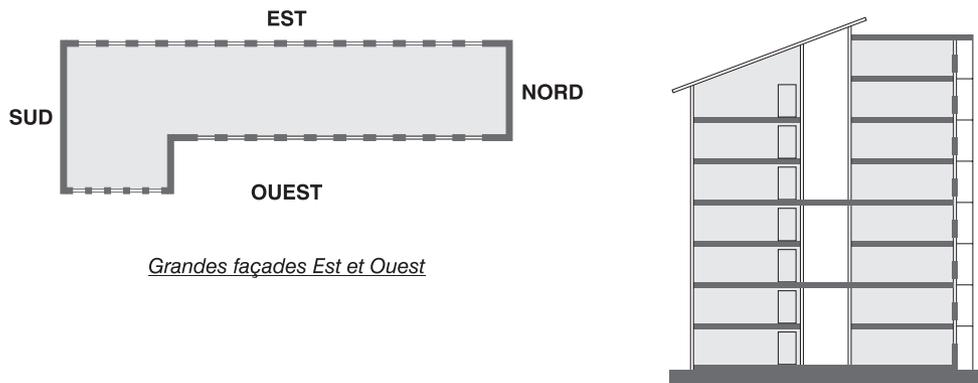


Figure 1.2 Signes d'une consommation énergétique excessive

Cependant quelques solutions simples et efficaces existent :

- ◆ La première de ces mesures est la réalisation de masques autour des ouvertures. Il s'agit entre autre des rideaux externes ou internes, la végétation et autres plantes, les auvents et vérandas. Les masques ont pour effet de stopper le rayonnement solaire direct pour réduire l'effet de l'une des sources de chauffage les plus importantes dans les pays tropicaux.

En effet la quantité de chaleur transmise à un local par les ouvertures peut être évaluée par

$$Q = F S \Phi_S$$

- F et S = facteur solaire de la vitre et sa surface.
 - Q = quantité de chaleur transmise à travers la vitre dans le local
 - Φ_S = éclairage solaire en W/m^2
- ◆ Les apports calorifiques par les vitrages et autres ouvertures ne sont pas limités à la seule transmission du rayonnement. Il y a aussi la conduction semblable à celle observée par les parois opaques ci-dessus.
 - ◆ Depuis l'existence de vitres sélectives de qualité, le choix du vitrage prend de l'importance dans la réduction des consommations énergétiques. Trois paramètres doivent guider ce choix :
 - ◇ Le coefficient global d'échange k
 - ◇ Le facteur de transmission du visible T_{vis}
 - ◇ Le coefficient d'efficacité lumineuse K_e qui prend en compte la transmission des autres composantes du rayonnement.

Une vitre de qualité doit avoir :

- $K \leq 6 W/m^2/K$
- $T_{vis} \geq 0,75$
- $K_e \geq 1$

- ◆ Les ouvertures sont également une source d'apports calorifiques par infiltration. Lorsque l'air externe est admis dans un local et que l'air frais y est chassé deux sortes de gain de chaleur sont enregistrées.
 - ◇ Les gains de chaleur sensible Q_s sont dus à l'écart de température entre extérieur et intérieur du local.

$$Q_s = 0,33 q_v (T_e - T_i) \quad [Watts]$$

- q_v est le débit d'air humide exprimé en m^3/h

- ◇ Les gains de chaleur latente Q_l qui sont dus à la chaleur de changement d'état admise lors de la condensation de la vapeur d'eau sur les batteries froides, du fait de l'écart d'humidité entre air externe et air interne. Plus l'air en contient de la vapeur et plus la charge frigorifique est importante. Les gains de chaleur latente Q_l s'expriment par :

$$Q_l = 0,82 q_v (x_e - x_i) \text{ [Watts]}$$

La formule est évaluée en considérant l'humidité absolue de l'air x en g/kg_{AS}.



Figure 1.3 Construction avec protection architecturale [Source: "CRATerre"]

1.1.1.3 Le renouvellement d'air

Le renouvellement d'air, au même titre que les infiltrations, correspond à une admission d'air externe dans le local climatisé. A la différence des infiltrations, le renouvellement d'air est provoqué. Il est nécessaire pour des raisons hygiéniques. Il permet de ramener la proportion d'air vicié à un niveau acceptable (taux de CO₂, odeurs, vapeur d'eau...).

La chaleur totale admise dans un local par renouvellement de l'air s'évalue comme ci-dessus par calcul des chaleurs sensibles et latentes admises dans le local.

Nous avons analysé dans ce qui précède les niveaux d'intervention possible de l'enveloppe du bâtiment. Un calcul rapide doit permettre dans chaque cas de se rendre compte de l'opportunité d'une intervention pour en réduire les apports calorifiques. A ce stade de l'analyse, la nécessité de l'intervention est dictée par le temps de retour des investissements.

Désignation des locaux	Débit min d'air neuf sans fumeurs [m ³ /h/personne]	Débit min d'air neuf avec fumeurs [m ³ /h/personne]	nombre [personnes/m ²]
locaux d'enseignement	15 - 18	25	0,67
dortoirs, chambres collectives	18	25	0,25
Bureaux et locaux assimilés	18	25	0,1
salles de réunion, spectacles...	18	30	0,31
boutiques, supermarchés	22	30	0,08
cafés, bars, restaurants...	22	30	0,5
locaux à usage sportif	18	30	0,8

Tableau 1.2 Taux de renouvellement d'air limites

1.1.2 Le groupe frigorifique

La consommation électrique d'un groupe frigorifique est avant tout dû au compresseur qui absorbe le maximum de l'énergie électrique. Il y a cependant la consommation des appareils annexes tels que :

- ◇ Les ventilateurs (à l'évaporateur, au condenseur, à la tour de refroidissement),
- ◇ Les pompes (à eau glacée et de refroidissement du condenseur),
- ◇ Les accessoires électriques de commande,
- ◇ (Le dégivrage mais, en principe, il n'y a pas de dégivrage dans une installation de climatisation).

Chacun de ces appareils produit de la chaleur et consomme par ailleurs de l'énergie électrique.

1.1.2.1 Le coefficient de performance

Il existe un paramètre clé de la consommation énergétique quand on parle de groupe frigorifique. Ce paramètre est le coefficient de performance.

$$\text{COP} = \frac{\text{Puissance frigorifique}}{\text{Puissance électrique consommée}}$$

Il est évalué en comparant le ratio de la quantité de frigories générée à la quantité d'énergie électrique consommée par le groupe frigorifique. Une installation de climatisation aura un COP minimum de 2,5 (voir recommandations plus précises en fin du chapitre 6).

1.1.2.2 Perte de chaleur par le compresseur f_q

Le ratio de la perte de chaleur du compresseur au profit de son environnement est aussi un facteur de bon fonctionnement des installations. Le tableau ci-dessous résume les données relatives aux plages de bon fonctionnement des groupes frigorifiques avec le rendement tel que défini ci-dessus et le coefficient d'échauffement f_q comme paramètres.

Compresseurs	Petits compresseurs hermétiques	Compresseurs semi-hermétiques	Grands compresseurs
f_q	0,75	0,1 - 0,25	0,05 - 0,15
η	0,4 - 0,5	0,5 - 0,7	0,5 - 0,8

Tableau 1.3 Evaluation des performances des compresseurs

Les températures et les pressions du cycle permettent de savoir l'état de santé exact du groupe. Chaque installation et chaque type de fluide possède ses températures et pressions de fonctionnement propres. Ces pressions et températures dépendent de l'application, de la puissance du compresseur, de la température du fluide de refroidissement du condenseur... Elles sont fixées une fois pour toute, à la conception de l'installation. Lorsque pour une raison quelconque les pressions ou les températures d'évaporation ou de condensation varient, les performances de l'installation s'en trouvent altérées.

Parce qu'on admet en général pour les deux échangeurs de chaleur (évaporateur et condenseur) des écarts de températures moyens entre fluides on peut déterminer aisément les écarts au bon fonctionnement en mesurant :

- ◇ Les pressions de condensation et d'évaporation, ou pressions de saturation p_s ,
- ◇ Les températures d'évaporation et de condensation, ou températures de saturation T_s ,
- ◇ Les températures du fluide refroidi à l'évaporateur,
- ◇ Les températures du fluide de refroidissement au condenseur.

En particulier :

- ◇ Une température (et une pression) d'évaporation trop basse en comparaison des besoins augmente la consommation d'énergie,
- ◇ Une température (et une pression) de condensation élevée augmente aussi la consommation d'énergie,
- ◇ Un taux de compression élevé, c'est-à-dire hors des limites de fonctionnement optimal du compresseur, augmente considérablement la consommation d'énergie.

On retiendra que l'écart entre température du fluide de refroidissement et température de condensation doit être compris entre 10 et 20°C. Celui entre température du fluide à refroidir et température d'évaporation est entre 16 et 20°C.

$$\begin{aligned} T_k - T_{ae} &\approx 10 \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_{ae} - T_o &\approx 16 \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_{ae} - T_{as} &\approx 5 \text{ à } 10 \text{ }^\circ\text{C à l'évaporateur} \end{aligned}$$

Les paramètres qui influent le plus sur le COP sont :

- ◇ La charge frigorifique. Une augmentation de 10% de la charge peut réduire le COP de 13 à 15 % en climatisation,
- ◇ Les rendements volumétriques et isentropiques du condenseur,
- ◇ Les efficacités des échangeurs (évaporateur et condenseur) à travers les coefficients globaux d'échange qui se dégradent au fil du temps,
- ◇ Les températures de condensation et d'évaporation. Les pays tropicaux ont tous en général une température ambiante élevée. Les températures de condensation sont par conséquent hautes et les COP en sont affectés.

1.1.3 La régulation

Trois niveaux de régulation sont utilisés dans une centrale de climatisation :

- ◇ La régulation de la température d'évaporation (pressostat basse pression)
- ◇ La régulation de la température de condensation (pressostat haute pression)
- ◇ La régulation de la température d'ambiance (thermostat d'ambiance)

Les deux premières sont directement reliées au groupe frigorifique et peuvent provoquer un arrêt du groupe quand rien n'est fait pour revenir au régime nominal de fonctionnement. Pour les installations de puissance, la tendance est à l'utilisation des automates programmables capables de gérer tous les paramètres de contrôle à peu de frais à partir de terminaux de commandes.

La régulation d'ambiance en climatisation consiste à maintenir les locaux climatisés dans les conditions de température et parfois même d'humidité requise par l'utilisateur en jouant sur la puissance frigorifique produite. Les techniques utilisées vont du simple thermostat d'ambiance aux systèmes électroniques sophistiqués tels que les automates.

La figure 1.3 montre le cycle de traitement d'un air de climatisation avec les points caractéristiques placés sur un diagramme de carrier de l'air humide.

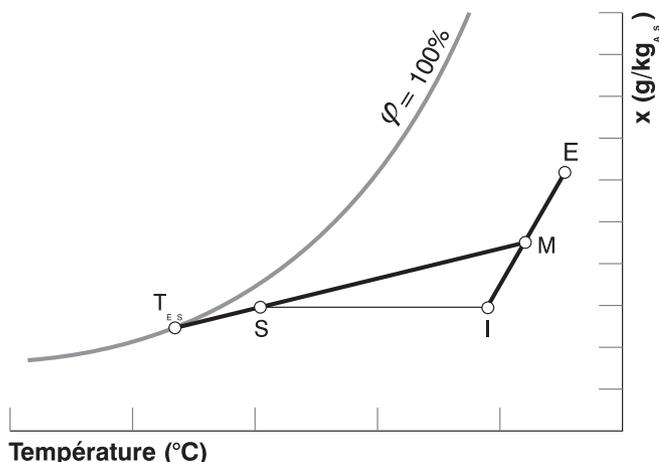
La température de consigne peut être hors de la plage de fonctionnement normal de la climatisation. Une température trop basse augmentera la puissance frigorifique appelée par le bâtiment, avec pour conséquence une consommation énergétique excessive. De plus, la température à l'évaporateur peut baisser et 1°C de réduction de la température d'évaporation provoque jusqu'à 3% de réduction du COP de l'installation.

Un thermostat d'ambiance placé au mauvais endroit peut aussi provoquer une consommation excessive du groupe. C'est souvent le cas lorsque la sonde est placée dans un angle mort loin du cône de soufflage de l'air traité.

On en arrive à refroidir le local à une température bien en dessous de celle de consigne. Toute modification de la température de climatisation réduit ou augmente les charges frigorifiques et donc la consommation énergétique.

On régule les températures des locaux par une variation des deux paramètres température et débit d'air de climatisation dans les systèmes à Volume d'air variable (VAV), température d'air variable (TAV), ou volume et température d'air variable (VTAV).

Dans le cas particulier de l'Afrique, le coût très bas des automates fait qu'ici plus qu'ailleurs les groupes frigorifiques des climatisations centrales doivent être gérés de préférence par des automates. On limite ainsi le nombre de panne pouvant conduire à l'indisponibilité totale des systèmes mais aussi les coûts d'exploitation. On minimise également le problème lié au défaut de technicien de maintenance de qualité.



- S* = point de soufflage
- I* = consigne de refroidissement ou température interne du local
- E* = air extérieur
- M* = point de mélange d'air externe *E* et d'air repris *I*

Figure 1.4 Cycle de traitement de l'air humide

1.1.4 Le déséquilibre du réseau

En climatisation centrale, l'air est distribué dans les locaux après son passage sur les batteries de refroidissement. Chaque local a ses besoins de refroidissement propres. On peut dans certains cas regrouper les locaux en zones de charges semblables afin de faciliter la régulation. L'air est véhiculé dans les canalisations pour être distribué dans les locaux à climatiser.

Les besoins des locaux dictent les débits d'air nécessaires à leur refroidissement.

La charge frigorifique sensible d'un local à refroidir à la température T_I sachant que la température de soufflage est T_S s'évalue par la formule :

$$Q_s = 0,33 q_v (T_I - T_S) \quad [\text{Watts}]$$

On voit que le couple (débit q_v , température de soufflage T_S) constitue le paramètre de base pour réguler la température interne T_I . Lorsque la température de sortie de batterie froide est imposée, le débit d'air pour chaque local à climatiser est obtenu par un calcul à partir de la puissance frigorifique Q_s .

Equilibrer un réseau d'air de climatisation consiste à donner à chaque local le débit q_v d'air nécessaire à son maintien à la température de consigne T_I . On y arrive par un calcul de pertes de charges prenant en compte la distance du local à la batterie froide, le débit demandé, les singularités du parcours aéraulique, la forme et la rugosité des canalisations...

L'équilibrage d'un réseau de gaine de transport d'air n'est pas aisé. Il est fréquent que des écarts soient observés entre les valeurs calculés et la réalisation pratique en terme de débits observés.

Dans les cas de climatisation centrale, les causes de dérèglement de réseaux aérauliques sont multiples :

- ◇ les gaines fracturées provoquent des fuites d'air traité,
- ◇ des vis de serrage manqués à certains appareils ou à certains niveaux du réseau,
- ◇ des appareils ou pertes de charges parasites ont été placés sur le réseau,
- ◇ des filtres sont bouchés,
- ◇ des ventilateurs fonctionnent mal.

Tout déséquilibre dans le réseau provoque un excès de refroidissement dans certaines zones du bâtiment et une insuffisance dans d'autres. Les déséquilibres dans les réseaux aérauliques constituent un véritable casse-tête pour les techniciens frigoristes et peuvent entraîner un fonctionnement désastreux des systèmes en terme de confort thermique et de consommation énergétique.

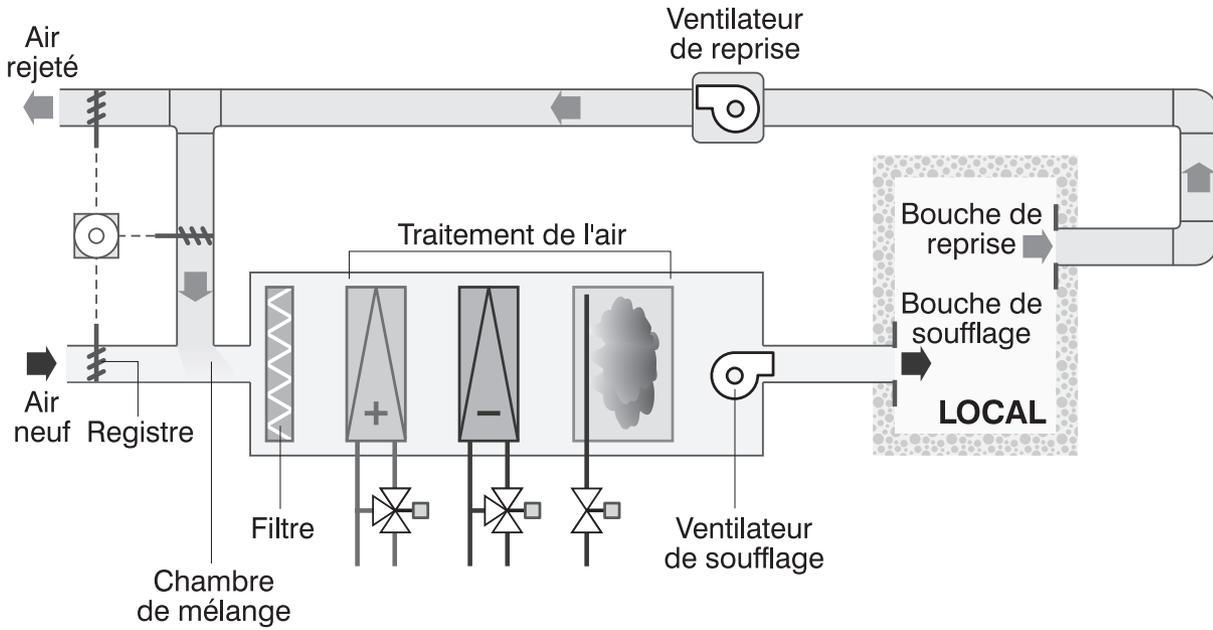


Figure 1.5 Schéma de principe de l'installation

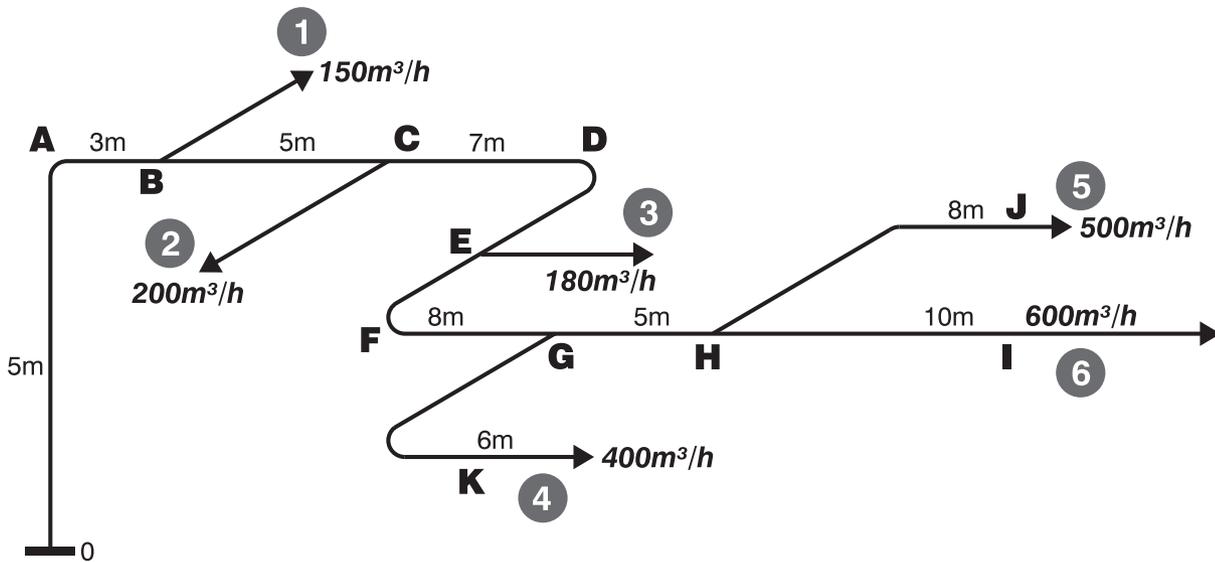


Figure 1.6 Schéma de principe d'un réseau aéraulique

1.2 COMMENT SITUER LA CONSOMMATION ENERGETIQUE D'UN BATIMENT PAR RAPPORT AUX AUTRES BATIMENTS DU SECTEUR ?

La consommation énergétique dans n'importe quel secteur d'activité, est évaluée à travers les ratios de consommation.

Dans le bâtiment, on définit aussi des ratios de consommation énergétique. Selon que l'on parle de chauffage ou de climatisation les ratios ne sont pas identiques.

Le code ivoirien de qualité énergétique du bâtiment est une référence dans la sous-région d'Afrique noire francophone. Il prend en compte les paramètres ci-après pour les quels nous proposons des limites par type de climat ou de structure d'immeuble.

1.2.1 La température de climatisation

Le premier paramètre qui vient à l'esprit quand on parle de réduction de charge de climatisation d'un local est la température interne (ou la consigne) de climatisation.

S'il parait difficile de proposer une température de climatisation à respecter par toute installation, il ne demeure pas moins évident qu'un choix aléatoire et anarchique de la consigne peut entraîner un accroissement considérable de la consommation. De la même façon que certains pays occidentaux proposent ou imposent une température de chauffage, on peut également proposer une température de climatisation. L'impression de bien être ressenti est sans aucun doute également psychologique. C'est pourquoi il est nécessaire de proposer une température type par pays qui puisse paraître aux yeux des utilisateurs comme celle pour laquelle on est dans le confort. Il n'est pas nécessaire de chercher à imposer cette température. Il faut tout simplement la suggérer et la faire accepter par tous à moyen ou long terme.

Une température de base de climatisation de 24 à 28 °C nous parait être une bonne fourchette. Naturellement, il n'est pas possible de fixer une température commune à tous les pays. Il peut y avoir de légères variations d'un pays à l'autre en raison de la différence de climat et des différences culturelles.

1.2.2 La surface des ouvertures

Pour limiter la transmission directe du rayonnement solaire à l'air des locaux il faut réduire les surfaces vitrées par rapport aux surfaces opaques des locaux. On mesure le rapport surface vitrée sur surface opaque par le ROM, rapport de la surface vitrée à la surface du mur.

Dans ce cas également, il est difficile de fixer une norme. On retiendra seulement que pour un ROM de plus de 25%, les dépenses énergétiques peuvent être considérées comme trop importantes. Naturellement l'importance du ROM dans la charge frigorifique dépend surtout de l'orientation du mur. Un ROM élevé au Nord ou au Sud aura moins d'importance qu'un ROM élevé à l'Est et à l'Ouest. Pour

une maison climatisée, un ROM de 1/3 au Nord et même au Sud, est tolérable alors qu'il ne peut l'être à l'Est et à l'Ouest.

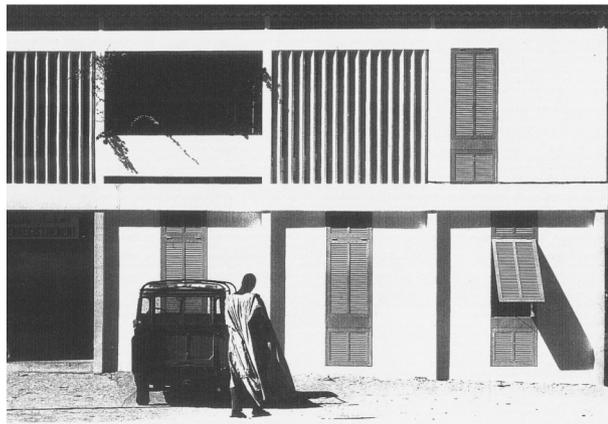


Figure 1.7 Différents types de protection d'une même façade (Sénégal)

Attention

Nos propos concernent des bâtiments climatisés. Dans le cas contraire, les conclusions peuvent être sensiblement différentes. Ainsi, pour les pays chauds et humides, un bâtiment non-climatisé demande de ne pas trop réduire la surface ou le nombre des ouvertures. En effet, dans ces pays la ventilation naturelle suffit très souvent à conférer un confort thermique à condition d'avoir les ouvertures en nombre et en surface suffisante.

Enfin à surface égale, il faut préférer un nombre réduit d'ouvertures pour limiter les infiltrations. Celles-ci sont directement proportionnelles aux périmètres des aires délimitées par les ouvertures. Par expérience, il paraît nécessaire à ce niveau de caractériser également les ouvertures par un degré d'étanchéité allant de 1 à 3.

- | |
|--|
| <p>1 : Bonne étanchéité
2 : Etanchéité moyenne
3 : Mauvaise étanchéité</p> |
|--|

Un volet qui ferme mal peut anéantir tous les efforts de climatisation dans un local. Un concepteur d'immeuble devrait choisir délibérément l'étanchéité des ouvertures des locaux à climatiser pour réduire au strict minimum les charges de climatisation. Le coefficient <1> donné ci-dessus correspond à cette situation. Lorsque aucune disposition particulière n'est prévue, on parle d'étanchéité moyenne notée <2>. Enfin tous les cas manifestement désastreux d'étanchéité (volets brisés ou manquants cadres qui ferment mal) correspondent à la situation <3>.

1.2.3 Facteur solaire

Pour limiter le taux de transmission directe du rayonnement solaire par les ouvertures vers les locaux (facteur solaire), plusieurs artifices sont utilisés tels que les rideaux, les auvents, les rebords aux fenêtres, la végétation, les vitres teintées. Le code ivoirien recommande l'utilisation de vitres teintées ou réfléchissantes. Celles-ci ont la particularité de stopper une bonne partie du rayonnement. Le code ivoirien recommande l'utilisation de telles vitres dès que le ROM est important. Les vitres sélectives sont mieux indiquées pour profiter de l'éclairage naturel sans chauffer les locaux. Leurs utilisations doivent être généralisées dans les pays à fort ensoleillement comme ceux d'Afrique.



*Figure 1.8 Immeuble de bureaux, (Guadeloupe)
[source : "arch. P.Huguet"]*

1.2.4 Surfaces opaques

Ce sont les murs et la toiture. Pour limiter les apports de chaleur par ces éléments il faut commencer par réduire leur absorption du rayonnement solaire. Toutes les surfaces opaques doivent être de préférence de couleurs claires et réfléchissantes. La limitation de la chaleur transmise par conduction impose ensuite une isolation thermique de ces surfaces. Le code ivoirien, impose une isolation du toit sauf en cas de double toiture.

A ce niveau il est sans doute plus indiqué d'introduire l'idée de coefficient global d'échange. En suggérant une épaisseur de mur par type de bâtiment. Chaque épaisseur de mur de structure connue correspond à un coefficient d'échange connu et catalogué.

Si pour les vitrages on peut tolérer des coefficients d'échange égaux à 3 Watt/m².K, cela ne devrait plus être le cas pour les surfaces opaques.

1.2.5 Synthèse des signes de consommation énergétique

Ainsi que nous venons de le voir, une consommation énergétique excessive dans un bâtiment climatisé a des causes diverses qui vont des gains thermiques au fonctionnement même du groupe frigorifique. La difficulté de détection des causes se situe plus au niveau méthodologique qu'au niveau de la compréhension. Nous avons résumé dans ce qui suit les principes de base d'un diagnostic énergétique de bâtiment climatisé en nous focalisant sur les apports calorifiques excessifs. Les principaux pôles de gains calorifiques qui doivent attirer l'attention sont les suivants.

- ◆ L'effet de serre à travers des ouvertures ou trop larges ou en nombre trop important est l'une des principales sources de consommation énergétique.

ROM < 1/3 T _{vis} > 0,75 K _e > 1 k < 6 W/m ² . K
--



Figure 1.9 Bibliothèque départementale (Guadeloupe)
[source : "arch. V. Vaudou"]

- ◆ Les façades principales à l'Est et à l'Ouest doivent faire l'objet d'une isolation thermique. De façon générale il faut minimiser les apports par conduction par les parois opaques

k < 3 W/m ² . K

- ◆ Les ouvertures et fermetures trop fréquentes des portes et fenêtres sont également une source de gains calorifiques (à la fois latents et sensibles) parfois élevé

$$q_v < 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

- ◆ Les portes et fenêtres qui ferment mal, les persiennes, les parties d'ouvertures brisées sont fréquentes dans les locaux et provoquent des surconsommations énergétiques (étanchéité de niveau <2>).
- ◆ Le toit, de par sa position par rapport au soleil et sa surface peut provoquer un apport calorifique très élevé, souvent plus élevé que tout le reste dans les petits immeubles. Comme pour les murs de façade principale, la solution de base est l'isolation thermique.
- ◆ Les appareils électriques lorsqu'ils ne sont pas utilisés doivent être systématiquement arrêtés sous peine d'accroître doublement la consommation énergétique des édifices par la consommation propre de ceux-ci et par la climatisation. C'est le cas par exemple pour l'éclairage.
- ◆ Les conduits de transport de l'air sont également sources d'apports thermiques. Lorsque ces conduits passent en particulier par des zones surchauffées tels que les buanderies, les cuisines, l'extérieur, il faut penser à réduire leurs pertes thermiques en les isolant, en réparant les fuites et évitant les pertes de charge parasites.
- ◆ L'éclairage doit avoir une efficacité et une intensité acceptables.

$$Pe > 50 \text{ lumens/Watts}$$
$$E < 500 \text{ lux en moyenne}$$



Figure 1.10 Les luminaires à ventelles limitent fortement l'éblouissement

1.3 COMMENT ANALYSER LES INFORMATIONS CONTENUES DANS UNE FACTURE ELECTRIQUE

La tarification des consommations électriques est basée sur le principe de pénaliser le consommateur qui mobilise du matériel coûteux (par un appel de puissance élevé) pour une faible consommation électrique globale. Pour arriver à une facturation simple qui prenne en compte ce principe, des tarifications ont été adaptées dans chaque pays. Des traits communs peuvent cependant être relevés. Avant de situer le sens des informations contenues dans une facture électrique il convient de passer en revue les paramètres utilisés le plus souvent dans la facturation électrique.

1.3.1 Le facteur de puissance

Le facteur de puissance ou $\cos\varphi$ mesure le taux de puissance réactive dans la consommation totale d'énergie de l'utilisateur. La puissance facturée par les sociétés d'électricité est la puissance active. Un taux de puissance réactive trop élevé ou un facteur de puissance faible indique un appel de puissance apparente élevé pour une consommation réelle ou facturée faible.

Pour inciter les consommateurs à corriger ce rapport consommation active consommation réactive, les sociétés d'électricité introduisent une pénalité calculée en fonction des valeurs prises par le facteur de puissance $\cos\varphi$ (ou $\text{tg}\varphi$).

Exemple de pénalité de facteur de puissance pratiqué par quelques sociétés d'électricité dans la région Afrique francophone.

Valeurs du facteur de puissance	Sanction prises par la société d'électricité
$\cos\varphi < 0,80$ $\text{tg}\varphi > 0,75$	Pénalité proportionnelle à l'écart avec cette valeur limite dû à un facteur de puissance trop faible.
$0,80 < \cos\varphi < 0,90$ $0,75 > \text{tg}\varphi > 0,48$	pas de pénalité
$\cos\varphi > 0,90$ $\text{tg}\varphi < 0,48$	Bonification de facteur de puissance. Elle peut être fonction de l'écart constaté avec la valeur limite indiquée ci-contre.

Tableau 1.4 Tableau indicatif de la pénalisation de facteur de puissance.

1.3.2 Le dépassement de la puissance souscrite

Lors de l'installation du compteur électrique, le consommateur propose une puissance moyenne qu'il estime ne pas pouvoir dépasser pendant le fonctionnement normal de ses installations électriques. Plus cette puissance est élevée et plus la prime fixe d'abonnement est forte. La tendance naturelle des usagers est de souscrire pour une puissance la plus faible possible.

Il s'ensuit un dépassement fréquent de la puissance pour des installations électriques non dimensionnées en conséquence.

Les sociétés d'électricité sanctionnent les consommateurs en fonction de la fréquence de dépassement de la puissance de souscription enregistrée. On recommande au consommateur de trouver un compromis entre une fréquence de dépassement dont la facturation combinée avec les frais de prime fixe minimisent les frais de souscription et dépassement de puissance.

Dans la pratique, on arrive à un tel résultat en analysant ses factures d'électricité. Cela suppose une année de fonctionnement au minimum avant de rechercher toute possibilité d'économie dans ce secteur. La puissance de souscription initiale est choisie en faisant une moyenne des puissances installées tenant compte d'un facteur approximatif de simultanéité. On détermine ensuite à l'aide de logiciels aujourd'hui disponibles sur le marché ou par une méthode graphique la puissance optimale. Avec les logiciels de calcul on peut affiner le calcul en se basant sur une facturation sur plusieurs années. Le résultat est presque toujours qu'il faut tolérer un certain dépassement de puissance souscrite de manière que la somme entre la prime fixe et les pénalités de dépassement de puissance soit minimale.

1.3.3 Heures creuses, heures de pointe, heures pleines

Certains pays ont dans leurs régimes de facturation plusieurs tarifs qui dépendent des heures d'utilisation de l'électricité. Dans chaque pays il y a des heures de surconsommation électriques appelées heures de pointe (en général dans la journée) et des heures de sous-consommation appelées heures pleines (le jour) et heures creuses (la nuit ou le we).

Le principe des facturations différenciées est que les sociétés d'électricité dimensionnent leurs puissances totales installées en fonction d'une puissance moyenne appelée inférieure à la puissance maximale ou puissance des heures de pointe. Il faut alors inciter les consommateurs à différer l'utilisation de l'électricité en reportant par exemple certaines des utilisations des heures de pointe sur les heures creuses. On écrête ainsi la consommation journalière globale et les installations de la société d'électricité sont à tout moment utilisés à leur régime nominal.

C'est ainsi que l'on peut obtenir une tarification de nuit très faible comparée à celle de jour. La mesure peut aussi bien toucher la basse tension que la moyenne tension. Vue sous l'angle de l'utilisateur domestique, on peut ainsi réduire de façon substantielle sa facture électrique en choisissant judicieusement les heures de fonctionnement des appareils dont l'utilisation peut être différée.

Chaque pays a ses heures creuses et heures de pointe communiquées aux utilisateurs. Certains gros utilisateurs d'énergie (industriels, hôtels, sociétés...) sont équipés de minuteries capables de démarrer et d'arrêter les machines aux heures indiquées. Le tarif des heures creuses étant suffisamment bas, l'investissement est vite récupéré.

Les informations que nous venons d'analyser à propos de la facturation concernent le plus souvent la réduction des frais d'électricité et non la consommation électrique elle-même. Facteur de puissance, dépassement de puissance souscrite et facturations aux heures creuses ne réduisent pas la consommation électrique.

Pour arriver à une réduction de la puissance consommée il faut agir sur les appareils qui consomment l'électricité. C'est-à-dire détecter leurs anomalies de fonctionnement et les corriger de manière à les ramener à un rendement acceptable. C'est un procédé par lequel les consommations sont portées sur un graphique et comparées aux heures respectives d'utilisation des appareils. Les démarrages et arrêts des appareils sont détectés par les pointes et creux de consommation sur le graphique. On arrive ainsi à détecter les surconsommations dus à tel ou tel appareil.

On peut également équiper les compresseurs des groupes frigorifiques de compteurs horaires. On arrive ainsi à détecter avec plus de chance les anomalies de fonctionnement. Les compteurs horaires permettent également de faire des bilans mois par mois de la consommation énergétique annuelle et par suite des statistiques et une programmation du fonctionnement conduisant à des économies énergétiques.

1.3.4 Analyse des informations contenues sur la facture électrique

Que ce soit en moyenne ou en basse tension, les factures électriques renferment dans le cas général les informations suivantes:

- ◇ La Prime fixe de l'abonnement, dépendant de la puissance souscrite,
- ◇ La consommation du mois,
- ◇ L'ancien et le nouvel index du compteur électrique. Leur différence donne la consommation du mois,
- ◇ Le tarif de l'abonnement en Francs/kWh,
- ◇ Les taxes appliquées dans le pays sur la consommation électrique (TVA, autres),
- ◇ Le montant "électricité" donne la somme à payer, versée à la société d'électricité,
- ◇ Le montant total à payer est la somme du montant électricité et des taxes.

Les usagers qui bénéficient des tarifs heures creuses et heures de pointe ont un double comptage. Ce tarif n'est applicable que lorsque le client souscrit pour une puissance minimale dépendant des pays : 30 A, 40 A ...

En moyenne tension le client dispose des informations complémentaires suivantes :

- ◇ La puissance du transformateur installé,
- ◇ La puissance des condenseurs installés,
- ◇ Le facteur de puissance ou la consommation en énergie active et réactive.

C'est à partir de toutes ces informations que l'on minimise sa facture d'électricité par une analyse objective de celle-ci.

LISTE DES SYMBOLES UTILISES

Q Quantité de chaleur

k	Coefficient global d'échange d'une paroi
S	Surface des parois
A	Surface des ouvertures
T	Température
q_v	Débit volumique
x	Humidité relative
V	Volume
ε	Coefficient d'absorption
σ	Constante de Stefan-Boltzman
Φ_s	Flux solaire
λ	Coefficient de conductivité thermique
c_v	Chaleur massique
ρ	Masse volumique
h_i	Coefficient de convection interne
h_e	Coefficient de convection externe
e	Epaisseur d'une paroi
TES	Température équivalente de surface

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BONHOMME A., *L'isolation thermique des locaux d'habitation, des maisons légères et des constructions solaires. Réglementation - Notions et calculs pratiques*, Edition du moniteur des travaux pratiques, 1967.
- [2] IEPF, *Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments*, PRISME, Actes de l'atelier de Yaoundé du 10 mai au 4 juin 1993.
- [3] COULIBALY Y., *Cours de Climatisation*, Polycopié de l'EIER, 1997.
- [4] COMITE D'ACTION POUR LE SOLAIRE, *Guide de L'architecture Bioclimatique. Systèmes solaires*, Hors Série, Suppléments au Numéro 116 et 117.
- [5] KEMAJOU A., *Confort thermique en situation réelle et mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments tertiaires au Cameroun*, Thèse de Doctorat De L'ENSP, Yaoundé, 1995.
- [6] JUDET de la COMBE A., *Le conditionnement de l'air, procédés et calculs utilisés en climatisation*. Encyclopédie du froid, Baillière J.B. et fils Paris, 1963.
- [7] DANIDA Development Advisory Group., *Concevoir avec la nature. Guide de planification et de conception active sous climat chaud et sec ou chaud et humide*, 1999.
- [8] GRET, *Bioclimatisme en zone tropicale, Construire avec le climat*, Dossier Technologies et Développement du Ministère de la coopération française, Programme Rexcoop, 1986.
- [9] TRANE, *Trane Air Conditioning Manuel*, Trane Company la crosse, Wisconsin, North American press, Milwaukee, WIS. 1995

- [10] ANDREIEFF de NOTBECK G., *Manuel du conditionnement d'air Tome II*, Pyc-Edition, 1978.
- [11] CARRIER, *Manuel Carrier 1^{ère} et 2^{ème} partie*, Carrier International LTD, New-York, Carrier corporation, 2^{ème} édition, 1960.
- [12] PORCHER G., *Cours de climatisation*, Les éditions parisiennes chaud-froid-plomberie, CFP, 1993.
- [13] DUMINIL M., *Air humide*, Techniques de l'Ingénieur B 2230-1.
- [14] MAAKE et ECKERT, *Le Nouveau Polhman - Manuel technique du froid*, Pyc édition, 1988.
- [15] AICVF, *Principes de l'aéraulique appliqués au bâtiment*, Collection des guides thématiques de l'AICVF, Pyc Edition, 1991.
- [16] COSTIC, EDF, FNB, Climatisation et développement, *Guide technique de la climatisation individuelle*, SEDIT Editeur, 1995.
- [17] AFME, *Guide d'aide à la conception de bâtiments climatiques aux Antilles*, 1989.
- [18] KOTZAOGLANIAN, *Manuel du Dépanneur. Manuel pratique de dépannage frigorifique et électrique des installations à détente directe et à condensation par air*, Imprimerie Copie-Couleur, Gap, 2^{ème} édition.
- [19] PROMOTELEC, *Locaux d'habitation, Etude thermique et isolation*, 4^{ème} édition, 1995.
- [20] PALENZUELA D., HOFFMANN J.B., COSTIC, EDF, FNB, *Diffusion de l'air en climatisation individuelle (Guide pratique)*, SEDIT Editeur, 1995.
- [21] AICVF, *Ventilation - Conception et calcul des installations des bâtiments et des ouvrages*, Collection des guides de l'AICVF, PYC Edition, Première édition 1992.
- [22] Ecole des Mines de Paris, *Casamo-Clim - Logiciel de calcul de confort thermique*, Cahier de recommandations et compléments scientifiques, Ademe Documents Pédagogiques, 1990.

CHAPITRE 2

LES AMELIORATIONS D'UN CLIMATISEUR

INTRODUCTION	24
2.1 PRESENTATION SOMMAIRE DES CLIMATISEURS INDIVIDUELS	24
2.2. TECHNIQUES GENERALES DE MAINTENANCE	29
2.2.1 Maintenance, dépannage et réparation	29
2.2.2 Documents d'entretien	29
2.2.3 Dossier d'entretien	30
2.3. DONNEES DE REFERENCE ET TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC	30
2.3.1 Données de référence	30
2.3.2 Techniques de diagnostic	31
2.4 PANNES CLASSIQUES ET MATERIEL D'INTERVENTION	33
2.4.1 Pannes classiques	33
2.4.2 Recherche de pannes	34
2.5. ENTRETIEN COURANT ET TESTS ELECTRO-FRIGORIFIQUES	41
2.5.1 Entretien courant	41
2.5.2 Tests électro-frigorifiques	43
2.6. REMPLACEMENT DES COMPRESSEURS HERMETIQUES	46
2.6.1 Test des compresseurs hermétiques	46
2.6.2 Remplacement du compresseur suite à une panne mécanique	49
2.6.3 Remplacement du compresseur suite à une panne électrique	50
2.7 CONTROLE DU BON FONCTIONNEMENT DU CLIMATISEUR	51
2.7.1 Contrôles hors tension (alimentation coupée)	51
2.7.2 Contrôle sous tension	53
2.8 Problèmes spécifiques aux pays chauds en développement	54
BIBLIOGRAPHIE	55

INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de présenter les bonnes pratiques de maintenance des climatiseurs individuels, ainsi que les dispositions à prendre pour améliorer leur fonctionnement.

Dans un premier temps nous verrons de manière très sommaire les types de climatiseurs individuels les plus courants et ce que l'on peut en attendre en termes de production frigorifique.

Ensuite, après un aperçu général de l'approche méthodologique utilisée en maintenance, nous analyserons respectivement les indicateurs de bon fonctionnement, les pannes les plus courantes, le matériel d'intervention, les techniques de diagnostic, les pratiques de dépannage et de réparation, et enfin les contrôles à effectuer après une intervention.

Nous terminerons le chapitre par un survol de quelques dispositions à prendre pour éviter une détérioration précoce de ces appareils dans le contexte des pays chauds en développement.

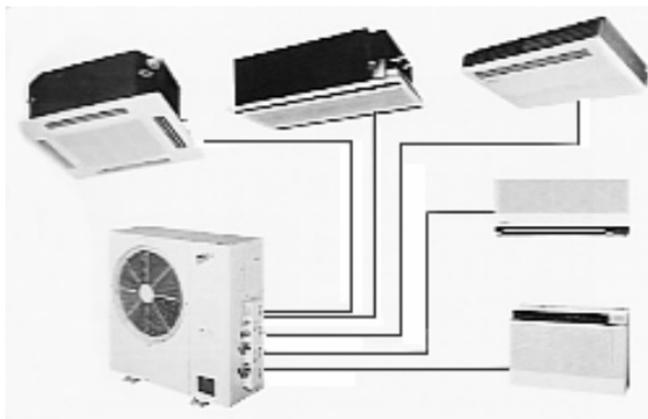


Figure 2.1 Différents modes d'évaporateurs pour un même condenseur

2.1 PRESENTATION SOMMAIRE DES CLIMATISEURS INDIVIDUELS

La climatisation individuelle couvre une gamme d'équipements très variés parmi lesquels nous pouvons citer :

- ◇ Les climatiseurs mobiles de type monobloc ou à éléments séparés (split system), dont les productions frigorifiques vont respectivement de 2 à 4 kW,
- ◇ Les climatiseurs fenêtre (window) avec des puissances frigorifiques allant de 2 à 7 kW,
- ◇ Les monoblocs à eau (appelés consoles) avec des puissances frigorifiques approximativement comprises entre 2 et 7 kW,

- ◇ Les climatiseurs à éléments séparés (split system ou multi splits) dont les productions frigorifiques vont de 2 à 15 kW,
- ◇ Les armoires de climatisation (climatiseurs individuels de grande puissance), qui peuvent être du type armoire monobloc (puissance frigorifique 7 à 120 kW), armoire à condenseur à air séparé (puissance 12 à 120 kW), monobloc à air à installer en toiture appelé rooftop (puissance frigorifique 7 à 350 kW) et enfin armoire à condensation par eau (puissance frigorifique allant de 7 à 140 kW).

La figure suivante présente une vue éclatée d'un climatiseur de type window.

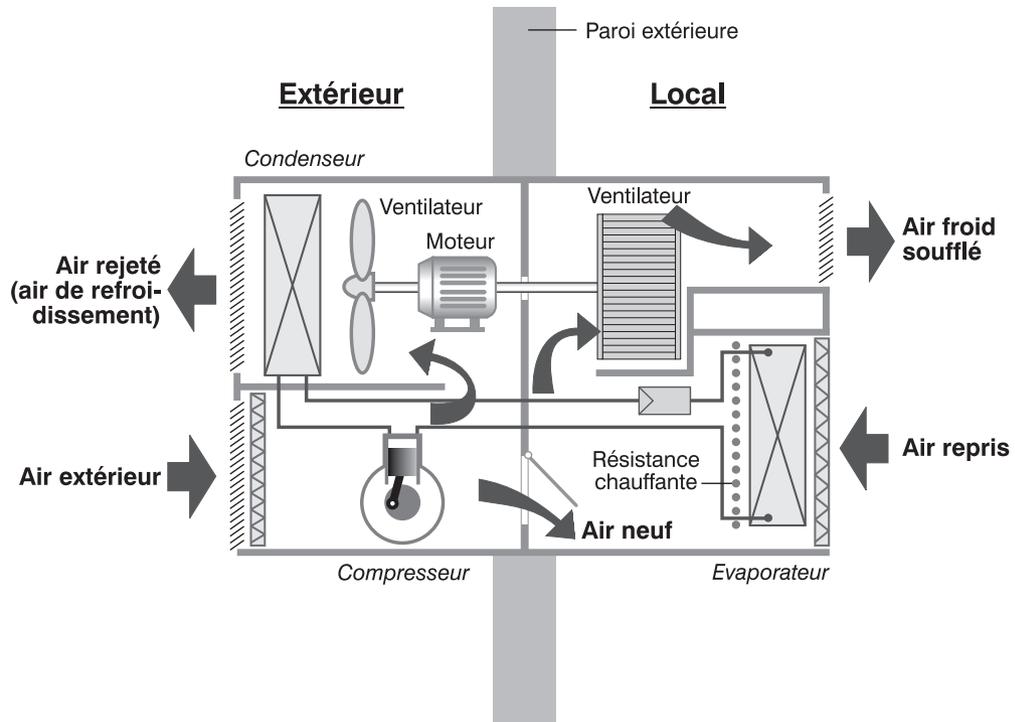


Figure 2.2 Principe de fonctionnement d'un climatiseur de fenêtre

Les climatiseurs individuels peuvent être montés selon différentes configurations (console, allège, plafonnier...) et avec divers équipements terminaux (soufflage direct, soufflage dans un réseau de gaines avec diffuseurs de soufflage et bouches de reprise...).

Dans les pays chauds en développement, la climatisation individuelle est essentiellement assurée par des climatiseurs individuels à condensation par air. La climatisation à condensation par eau (généralement recyclée dans des tours de refroidissement ou des condenseurs évaporatifs) est effectuée exclusivement dans les centrales à eau glacée, avec comme équipements terminaux des ventilo-convecteurs ou des caissons de traitement d'air associés à un réseau de gaines.

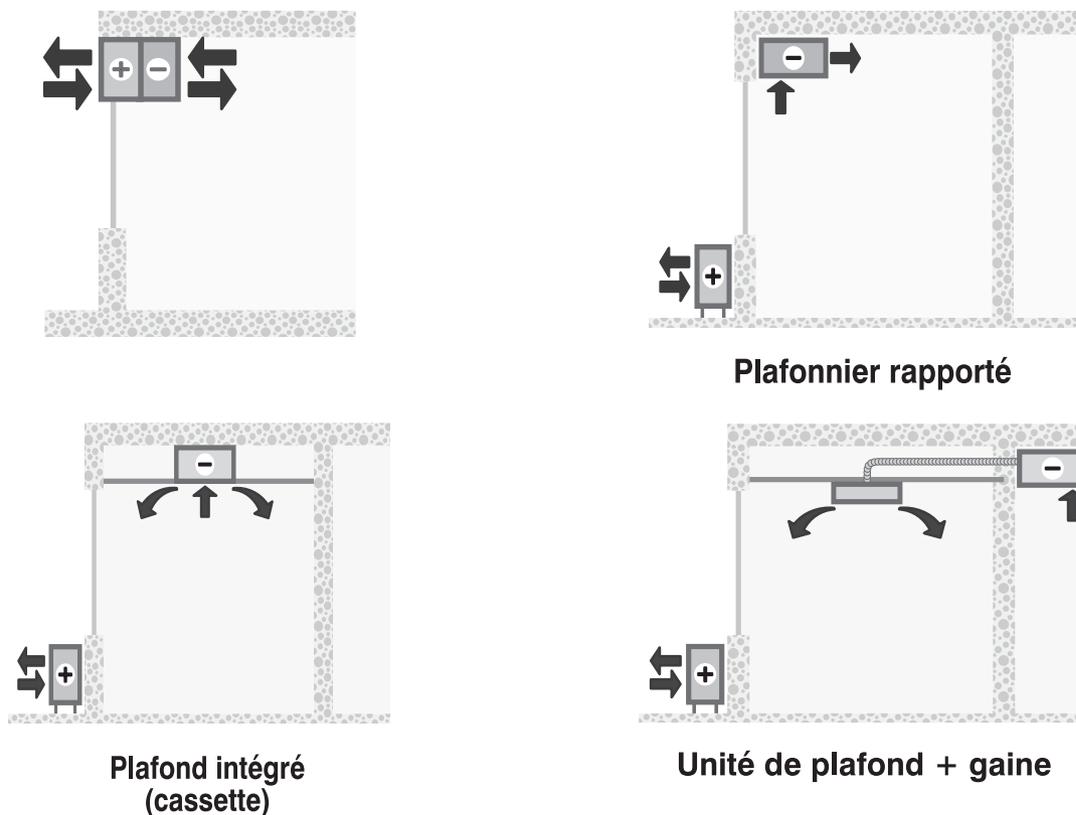


Figure 2.3 Différentes configurations pour l'installation des climatiseurs

La centrale de climatisation et ses accessoires faisant déjà l'objet d'autres chapitres de ce manuel, nous limiterons nos propos, dans le cadre de l'actuel chapitre, aux climatiseurs individuels à condensation par air.

De même, les systèmes à Volume de Réfrigérant Variables (VRV), parfois assimilés aux systèmes multi-splits, seront plutôt traités dans le cadre des centrales de climatisation à condensation par air car ils constituent actuellement de redoutables concurrents des centrales à eau glacée.

La figure 2.4 présente un schéma de montage d'un climatiseur à éléments séparés (split system) avec unité intérieure de type cassette.

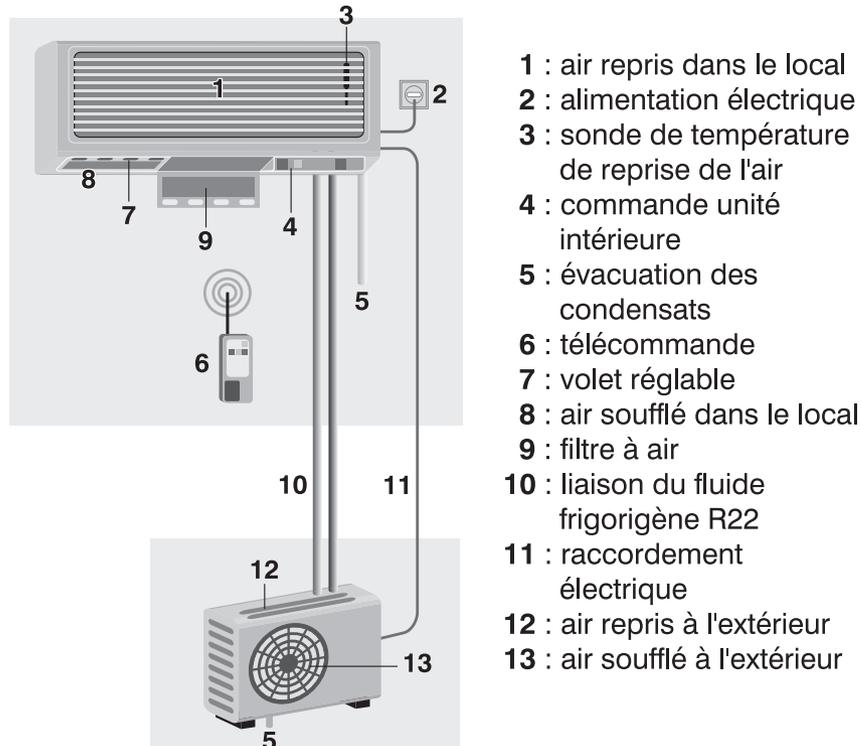


Figure 2.4 Installation d'un split avec unité intérieure de type cassette

Les climatiseurs individuels sont des appareils permettant de rafraîchir ou de ventiler un ou plusieurs locaux à un faible coût, mais sans aucune possibilité de contrôle précis du degré hygrométrique intérieur. Ils peuvent ventiler, rafraîchir, déshumidifier ou chauffer* un local. La fonction chauffage est assurée par résistance chauffante ou, pour les climatiseurs réversibles, par inversion de cycle. Les climatiseurs individuels sont prévus pour un refroidissement de l'air extérieur de 8 à 10 °C.

Pour une utilisation dans les pays où il fait très chaud pendant toute l'année, les résistances chauffantes sont généralement démontées afin d'éviter de souffler de l'air chaud dans le local suite à une mauvaise manipulation de l'utilisateur.

Quant aux climatiseurs réversibles pour lesquels la fonction chauffage est assurée par inversion de cycle, l'installateur en pays chaud doit mettre hors service le fonctionnement en inversion de cycle.

Les figures 2.5 à 2.8 schématisent différentes configurations d'armoires de climatisation.

On notera que les armoires à condensation par air peuvent être du type compact ou à condenseur séparé.

Les armoires à condensation par eau sont rarement utilisées dans les pays en développement. Cependant, on trouve quelques fois des installations de climatisation de moyenne puissance comportant plusieurs armoires à condensation par eau raccordées à une seule tour de refroidissement.

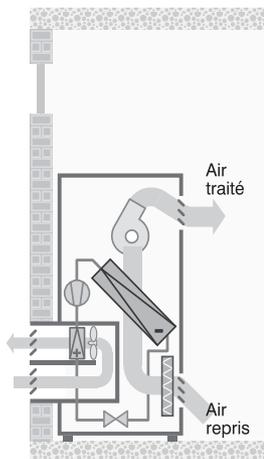


Figure 2.5 Armoire de type compact à condensation par air

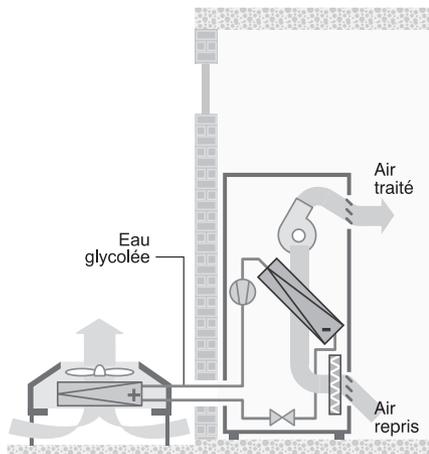


Figure 2.6 Armoire à condenseur séparé

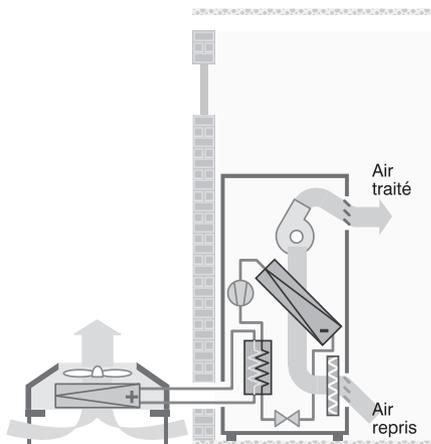


Figure 2.7 Armoire de climatisation à condensation par eau.

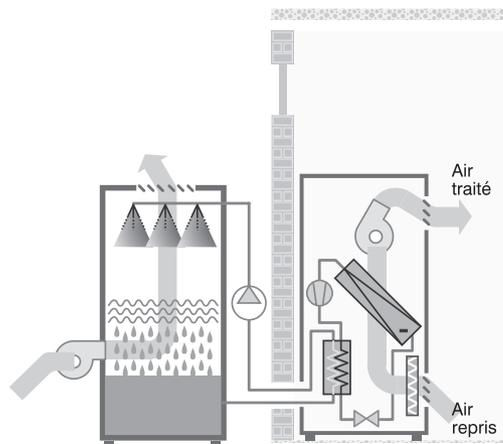


Figure 2.8 Armoire de climatisation à condensation par eau avec tour de refroidissement.

2.2. TECHNIQUES GENERALES DE MAINTENANCE

2.2.1 Maintenance, dépannage et réparation

La maintenance regroupe plusieurs types d'actions :

◆ **La prévention**

Tenue des documents permettant de suivre la « vie » du climatiseur, la mise à jour du stock de pièces de rechange, la réalisation d'inspections, de visites et de contrôles.

◆ **Les interventions**

Par exemple une réparation, une révision ou un échange standard.

◆ **Les actions d'amélioration**

Modifications du climatiseur de façon à améliorer certaines de ses caractéristiques.

◆ **Les travaux neufs**

Mise en place ou implantation de nouveaux équipements.

◆ **La sécurité**

Toutes les actions contribuant à la protection du matériel, de l'environnement et du personnel.

On distinguera deux types de maintenance :

- ◇ La maintenance corrective (palliative ou curative),
- ◇ La maintenance préventive (systématique ou conditionnelle).

On notera que le terme dépannage regroupe l'ensemble des opérations permettant de mettre provisoirement en service un climatiseur défectueux, en attendant une réparation définitive. En dépannage, la rapidité de l'intervention prime sur la qualité. La réparation est la remise en état définitive du climatiseur défectueux. Contrairement au dépannage, la réparation est une action palliative qui est généralement planifiée et bien préparée. Lors d'une réparation, la qualité de l'intervention prime sur sa rapidité.

2.2.2 Documents d'entretien

Les documents d'entretien sont en quelque sorte le tableau de bord des installations. Ces documents peuvent être classés en deux grandes familles :

- ◇ Les documents technologiques concernant le matériel,
- ◇ Les documents techniques d'entretien préventif ou curatif.

L'ensemble de ces documents d'entretien constitue le dossier entretien.

2.2.3 Dossier d'entretien

Le dossier d'entretien est d'une importance vitale pour la surveillance du matériel. Ce dossier doit regrouper, entre autres, les documents suivants :

- ◇ Les documents techniques des fournisseurs : caractéristiques, duplicata de commande, de garantie, compte rendu de mise en service, etc...,
- ◇ Les documents de remise en service de l'installation,
- ◇ La notice de conduite et d'entretien,
- ◇ Les jeux de plans présentant le schéma de principe de l'appareil et la fonctionnalité des différents accessoires frigorifiques, électriques, aérauliques et hydrauliques,
- ◇ Les schémas de câblages électriques,
- ◇ Les documents administratifs (marché d'entretien, fiches d'entretien, fiches d'intervention pour dépannage, fiches de compte-rendu d'intervention et de remplacement des pièces, fiches de préparation de travail, documents imposés par la réglementation, document mini-planning présentant les dates des visites effectuées, documents de contrôle, duplicata commandes fournisseurs pour remplacement des pièces...),
- ◇ ...

2.3. DONNEES DE REFERENCE ET TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC

Nous limiterons notre analyse au cas des climatiseurs à condensation par air car ils sont de loin les plus utilisés dans les pays chauds. L'indisponibilité de l'eau, son prix relativement élevé et les traitements chimiques nécessaires pour son utilisation dans un condenseur obligent les usagers des pays en développement à écarter cette solution en climatisation individuelle.

2.3.1 Données de référence

L'échauffement de l'air (ΔT_{ak}) à travers un condenseur à air, c'est-à-dire l'écart entre la température de l'air à la sortie du condenseur (T_{as}) et la température de l'air à l'entrée du condenseur (T_{ae}), se situe généralement autour de 5 à 10 °C. On notera que la température de l'air à l'entrée du condenseur correspond à la température de l'air ambiant extérieur (T_{ext}). L'écart de température (ΔT_{ka}) entre la température de condensation (T_k) et la température de l'air à la sortie du condenseur (T_{as}) est de 5 à 10 °C. L'écart (ΔT_k) entre la température de condensation et la température de l'air ambiant extérieur sera compris entre 10 à 20 °C, soit en moyenne 15°C.

Le sous-refroidissement (SR) dans le condenseur à air sera compris entre 4 et 7°C. On notera que le sous-refroidissement correspond à l'écart entre la température de condensation et la température du fluide frigorigène à la sortie du condenseur. Un sous-refroidissement faible indique un manque de fluide frigorigène, tandis qu'un sous-refroidissement élevé indiquera un excès de charge. Une surchauffe (SC) normale se situera entre 5 et 10 °C. La surchauffe représente l'écart entre la température du fluide

frigorigène à la sortie de l'évaporateur et la température d'évaporation. Un détendeur partiellement obstrué provoquera une élévation de la surchauffe.

A l'évaporateur, l'écart (ΔT_{ao}) entre la température de l'air soufflé (T_{os}) et la température de l'air repris (T_{or}) sera compris entre 6 à 10 °C. L'écart (ΔT_o) entre la température d'évaporation T_o et la température de l'air repris (T_{or}) sera compris entre 16 et 20 °C, soit en moyenne 18°C. L'écart entre la température d'évaporation T_o et la température de l'air repris T_{or} restera constant si la haute pression ne varie pas. Une basse-pression anormalement faible sera due au fait que le compresseur aspire beaucoup plus de vapeurs que l'évaporateur n'en produit.

Les informations ci-dessus permettent de connaître les grandeurs importantes suivantes: la basse pression P_o (et la température d'évaporation T_o), la haute pression P_k (et la température de condensation T_k), la surchauffe, le sous-refroidissement, la température de l'air à la sortie du condenseur, la température de l'air repris et enfin la température de l'air soufflé au niveau de l'évaporateur.

Connaissant la nature du fluide frigorigène dans l'installation (à lire sur le détendeur thermostatique) et la température ambiante extérieure mesurée lors de l'intervention, on peut en déduire T_k et P_k . La valeur de la température à obtenir dans la pièce permet d'en déduire T_o , d'où P_o . En montant un manifold sur l'installation, on peut lire les valeurs relatives de P_o et de P_k qu'il suffit de comparer aux valeurs de références afin d'orienter le diagnostic en s'inspirant de l'organigramme de la figure 2.9.

2.3.2 Techniques de diagnostic

Le diagnostic consiste à effectuer un ensemble de mesures simples sur l'appareil en service et dans son environnement immédiat.

Ces relevés sont ensuite comparés aux données de référence afin de déceler d'éventuelles insuffisances techniques de l'équipement.

L'acquisition des mesures est beaucoup plus aisée avec les climatiseurs splits car sur ce type de matériel, des prises de pression sont généralement prévues en haute pression et en basse pression, ce qui n'est pas le cas pour les climatiseur en fenêtres (window).

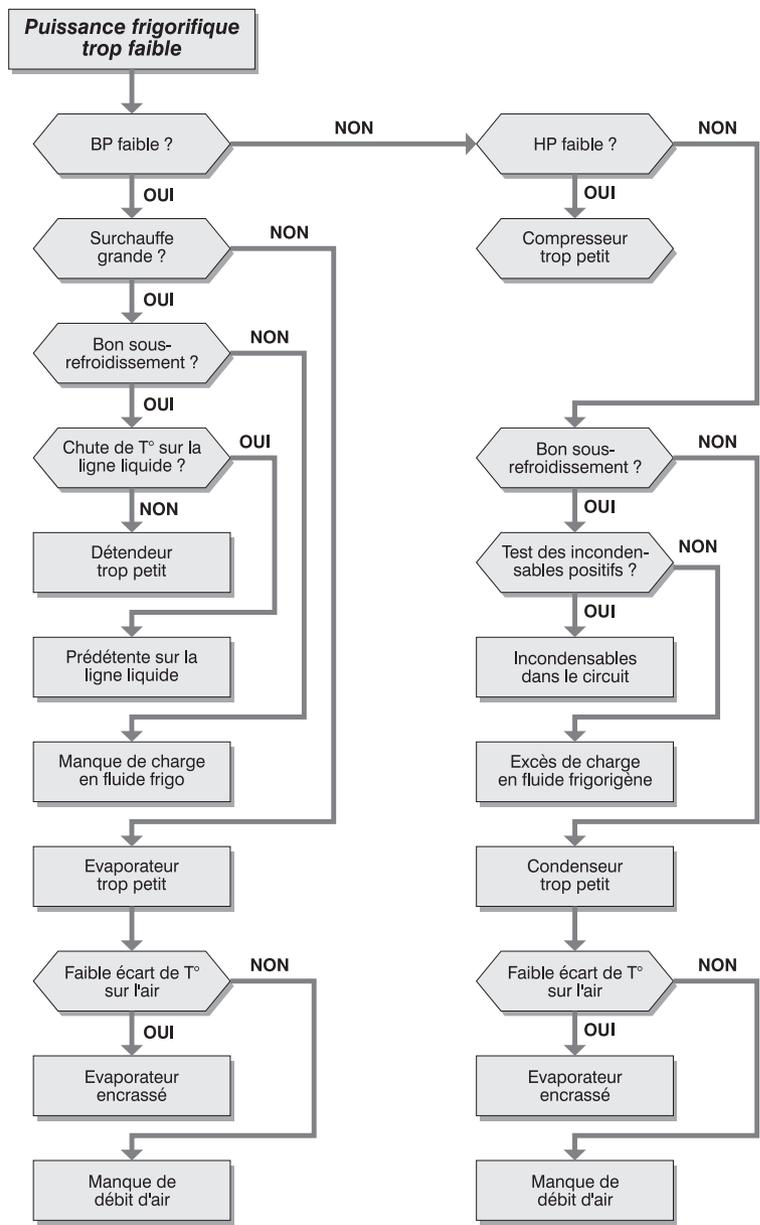


Figure 2.9 Procédure de diagnostic d'un climatiseur

2.4 PANNES CLASSIQUES ET MATERIEL D'INTERVENTION

2.4.1 Pannes classiques

En climatisation, on distinguera généralement trois grandes catégories de pannes :

- ◇ Pannes provoquant une chute de la basse pression,
 - détenteur de puissance insuffisante
 - manque de charge
 - prédétente sur la ligne liquide
 - évaporateur de puissance insuffisante
- ◇ Pannes provoquant une augmentation de la basse pression,
 - compresseur de puissance insuffisante
- ◇ Pannes provoquant une élévation de la haute pression.
 - excès de charge
 - présence d'incondensables
 - puissance du condenseur insuffisante

Nous fournissons ci-dessous un aperçu des principales pannes et leurs symptômes :

- ◇ Détendeur défectueux (obstruction partielle...),
 - basse pression faible
 - surchauffe élevée
 - bon sous refroidissement
 - pas de perte de charge sur la ligne liquide
- ◇ Charge insuffisante en fluide frigorigène,
 - basse pression faible
 - surchauffe élevée
 - faible sous refroidissement
- ◇ Obstruction sur ligne liquide,
 - Basse pression faible
 - grande surchauffe
 - bon sous refroidissement
 - perte de charge sur la ligne liquide
- ◇ Puissance insuffisante à l'évaporateur (encrassement, faible débit d'air,..),
 - basse pression faible
 - surchauffe normale ou faible

- ◇ Puissance insuffisante au compresseur,
 - basse pression élevée
 - haute pression pas élevée
- ◇ Excès de charge en fluide frigorigène,
 - basse pression plutôt élevé
 - haute pression plutôt élevée
 - bon sous refroidissement
 - pas d'incondensables.
- ◇ Présence d'incondensables dans le circuit,
 - basse pression plutôt élevée
 - haute pression plutôt élevée
 - bon sous refroidissement
- ◇ Condenseur de faible puissance (encrassé, faible débit d'air).
 - basse pression élevée
 - haute pression élevée
 - mauvais sous refroidissement

2.4.2 Recherche de pannes

Il existe de nombreux tableaux d'aide à la recherche de panne. Cependant, la présentation de ces tableaux les rend souvent inexploitable. Dans cette section, nous allons présenter quelques indications permettant la recherche de dysfonctionnements sur les principaux constituants d'un climatiseur individuel.

- ◆ Condenseur à air
 - ◇ Débit d'air faible,
 - batterie sale
 - prise ou sortie d'air obstruée
 - pales du ventilateur sales
 - inversion du sens de rotation des ventilateurs
 - vitesse trop faible
 - coupure sur sécurité ventilo-moteur
 - vents prédominants...
 - ◇ Présence d'incondensables,
 - mauvaises pratiques lors de l'entretien ou de l'assemblage initial
 - fuites en basse pression avec une basse pression inférieure à la pression atmosphérique...

- ◇ Recyclage de l'air au condenseur,
 - mauvaise implantation
 - obstruction temporaire
 - vents dominants...
- ◇ Surcharge en fluide frigorigène.
 - mauvaise charge

Les défauts au condenseur énumérés ci-dessus provoquent un déclenchement du pressostat HP, et parfois l'ouverture du contact qui protège le compresseur contre les surcharges électriques.



Figure 2.10 *Le condenseur devrait toujours être situé à l'ombre*

- ◆ Réservoir de liquide
 - ◇ Tourbillonnements qui se produisent lorsque la charge en fluide frigorigène est trop faible, ce qui provoque une réduction de la capacité du détendeur,
 - ◇ Obstruction de la sortie de la bouteille par des saletés, ce qui se manifeste par des bulles dans le voyant.

- ◆ Evaporateur refroidisseur d'air

Sur ce constituant, il y a en général deux types de problèmes

- ◇ Une mauvaise qualité de l'alimentation en air et de sa répartition,
 - filtres ou batteries sales
 - inversion du sens des ventilateurs
 - obstruction des gaines de soufflage
 - patinage de la courroie
 - mauvais alignement des poulies
 - volets mal réglés

La panne d'insuffisance d'air se manifeste par une basse pression faible, un givrage de la batterie et une température ambiante basse.

- ◇ Une mauvaise qualité de l'alimentation en fluide frigorigène et de sa répartition,
 - déshydrateur bouché
 - tuyauterie ou raccord obstrué
 - détendeur défectueux

Les principaux symptômes de cette panne sont : basse pression faible, givre ou glace sur la batterie, bulles dans le voyant, prédétente.

◆ Compresseur

Sur le compresseur, les dysfonctionnements suivants sont souvent observés :

- ◇ Grippage mécanique
 - pièges à huiles (occasionnés par une mauvaise implantation des tuyauteries)
 - noyage du compresseur (détendeur défectueux ou coups de liquide)
 - manque de fluide frigorigène provoquant un mauvais retour d'huile.

Le grippage est très fréquent après une carbonisation du compresseur.

- ◇ Bruits excessifs à l'intérieur du compresseur
 - usure interne par insuffisance de lubrification

Si l'on entend des cognements à l'intérieur du compresseur au démarrage, il s'agit des coups de liquide dus à l'accumulation de fluide frigorigène dans le carter pendant l'arrêt du compresseur. On peut éviter les coups de liquide par utilisation de la résistance de réchauffage du carter ou par « pump down control » (tirage au vide avant l'arrêt du compresseur).

- ◇ Manque de puissance
 - problèmes de clapets (cassés ou usés)
 - joints défectueux

Ce qui provoque un faible taux de compression qu'on peut facilement déceler (basse pression élevée, haute pression faible, température de refoulement faible, température du carter du compresseur élevée).

- ◇ Surchauffe élevée
 - faible tension en ligne (compresseurs hermétiques)
 - surtension associée à une basse pression faible (compresseurs hermétiques)
 - manque de fluide frigorigène (compresseurs hermétiques)
 - charge thermique élevée (basse pression élevée)
 - faible charge d'huile

- taux de compression élevé

◆ Détendeur Thermostatique

On rencontre trois problèmes fréquents sur ce type de matériel :

- ◇ La suralimentation (noyage)
 - bloqué en position ouverte
 - inadapté au type de fluide utilisé
 - bulbe mal positionné ou mal fixé
 - faible charge thermique
 - excès d'huile
- ◇ Etranglement
 - blocage en position fermée
 - manque de fluide frigorigène
 - déshydrateur bouché
 - distributeur bouché
 - prédétente
 - bulbe mal positionné
- ◇ Pompage
 - grippage ou une friction des éléments internes
 - sur-dimensionnement
 - faible charge thermique
 - changements rapides de pression (ou de température) de condensation
 - variations brutales de la charge thermique

◆ Capillaires

Ils sont très sensibles :

- à l'excès d'huile (sous alimentation),
- aux excès de sous-refroidissement (noyage),
- à la prédétente (sous alimentation).

Sur ce constituant, on rencontre surtout des problèmes d'obstruction partielle ou totale.

◆ Pressostats

Ils sont très souvent à réarmement automatique. Les coupures en basse pression au démarrage sont généralement occasionnés par la lenteur du détendeur. Un climatiseur exposé au soleil pendant l'arrêt va accumuler de la chaleur qui pourrait provoquer une coupure en haute pression

car au démarrage, le pressostat haute pression peut s'ouvrir avant que le ventilateur du condenseur n'ait le temps d'évacuer la chaleur accumulée dans l'unité. Enfin, si le moto-compresseur monte beaucoup plus vite en régime que le ventilo-moteur du condenseur, le pressostat haute pression risque de couper.

◆ Accessoires

◇ **Déshydrateur**

Une différence de température de part et d'autre du déshydrateur signifie qu'il est très sale et doit être remplacé. Par ailleurs, si le déshydrateur arrive à saturation, il risque de relâcher l'humidité retenue, ce qui pourrait provoquer une congélation de l'eau au niveau de l'orifice de détente.

◇ **Electrovanne**

Ce composant va bourdonner si la tension en ligne est faible, si la connexion est mal serrée ou si son mécanisme est grippé. Il faut noter que l'électrovanne se fermera en cas de grippage, ou si la bobine est ouverte, et enfin si le différentiel de pression est trop élevé. Ainsi, avant de remplacer une électrovanne pour grippage, il faudra toujours vérifier son différentiel maximal de service. Une fuite interne sur l'électrovanne se manifestera par un écart de température de part et d'autre du composant.

◇ **Voyant liquide**

Les bulles dans le voyant indiquent un manque de fluide ou une perte de charge due à une restriction ou une ligne sous-dimensionnée. Il est conseillé d'être très prudent lors de l'utilisation de l'indicateur de teinte. D'une part, l'indicateur ne donne pas une lecture fiable s'il n'est pas entièrement recouvert de fluide. Par ailleurs, le changement de couleur intervient toujours à la même valeur d'humidité relative, ce qui signifie que si la température du fluide frigorigène augmente, il faudra encore plus d'humidité relative pour que l'indicateur de teinte réagisse. Par ailleurs, si le voyant a été exposé à un taux d'humidité relative élevé, il ne peut plus donner une indication fiable car ses sels révélateurs pourraient être délavés. Avant de changer plusieurs fois de déshydrateur afin de retrouver la bonne teinte, il faut avoir au préalable testé le voyant à l'aide d'un fluide frigorigène neuf.

◆ *Matériel d'intervention*

Les climatiseurs individuels sont souvent équipés de compresseurs hermétiques. Pour les climatiseurs window, aucune prise de pression n'est prévue sur l'appareil. Pour intervenir sur ce type d'équipement, on utilisera très souvent une valve à clapet (vanne schrader) qui sera montée sur le tube de charge du compresseur. Pour la mesure de la haute pression, une vanne schrader peut aussi être montée par piquage sur la tuyauterie de refoulement du compresseur. Par contre,

sur les climatiseurs split, des prises de pression sont souvent prévues en haute pression et en basse pression.

Le by-pass de service (ou manifold) permettra la mesure de la haute pression et de la basse pression, et des températures correspondantes. La fixation d'un Manifold sur un climatiseur permettra donc de lire les valeurs de P_k et de P_o que l'on comparera aux valeurs de référence. Ainsi, l'on pourra dire si la haute pression ou la basse pression est forte ou faible. Le manifold sert aussi d'organe de raccordement pour le tirage au vide, la charge en fluide frigorigène et la charge en huile de l'installation.

Tous les compresseurs semi-hermétiques ou ouverts et certains compresseurs hermétiques sont équipées de vannes de service (vanne trois voies), généralement montées à l'aspiration et au refoulement du compresseur, et à la sortie de la bouteille liquide. La vanne trois voie permet la prise de pression ou la charge de l'installation en phase liquide (vanne départ liquide) ou en phase gazeuse (par l'aspiration).

Le cylindre de charge ou une balance électronique programmable seront utilisés pour charger un climatiseur lorsque la quantité de fluide frigorigène à introduire dans le circuit est connue. Le cylindre n'est pas souvent utilisé par les frigoristes, la balance non plus car ils préfèrent souvent effectuer la charge en contrôlant les pressions, la surchauffe ou le givrage de l'évaporateur.

Pour la détection des fuites, on utilisera de l'eau savonneuse, une lampe haloïde ou un détecteur électronique.

Pour l'évacuation des gaz contenus dans le circuit frigorifique, on utilisera une pompe à vide. On évitera de raccorder la pompe à vide sur un circuit sous pression. Par ailleurs, le niveau d'huile dans la pompe devra être contrôlé avant chaque utilisation.

Pendant le tirage au vide, la mesure du niveau de dépression se fait à l'aide d'un vacuomètre qu'il faudra penser à retirer du circuit pendant la charge de l'installation.

Les mesures des températures de surface sur les tuyauteries frigorifiques à la sortie de l'évaporateur et à la sortie du condenseur permettent de déterminer respectivement les valeurs de la surchauffe et du sous-refroidissement. Pour cette mesure, un thermomètre de contact sera suffisant.

Une perte de charge sur la ligne liquide se traduira par une chute de température. Ainsi, si l'on remarque par exemple une chute de température entre l'entrée et la sortie d'un déshydrateur, on peut en conclure qu'il est partiellement bouché. Si cet écart de température est supérieur à 3°C, il est préférable de le remplacer. Donc pour la détection des pertes de charges anormales, un thermomètre de contact sera suffisant.

Un thermomètre d'ambiance est nécessaire pour les mesures de températures ambiantes (intérieure et extérieure), la température de l'air à la sortie condenseur, les températures de soufflage et de reprise à l'évaporateur. Ces mesures permettront de valider la température

intérieure du local, ainsi que les différents écarts de température à l'évaporateur et au condenseur. Un thermomètre d'ambiance sera par ailleurs suffisant pour faire le test des incondensables.

Un détecteur électronique est recommandé pour la recherche de fuites sur le circuit frigorifique.

Une pince multimétrique permettra de mesurer l'intensité nominale du moto-compresseur et contrôler les relais de démarrage. La valeur d'intensité nominale mesurée sera comparée à la valeur inscrite sur la plaque signalétique ou fournie dans le catalogue constructeur. L'utilisation en voltmètre permettra de contrôler la tension d'alimentation. La fonction ohmètre sera surtout utilisée pour le test des enroulements du compresseur et le contrôle de la mise à la terre. Le test des condensateurs se fera de préférence avec un ohmètre à aiguille à faible sensibilité.

Un anémomètre sera nécessaire pour le contrôle des débits d'air au condenseur et à l'évaporateur. Les valeurs mesurées seront comparées aux données du catalogue du fabricant.



2.5. ENTRETIEN COURANT ET TESTS ELECTRO-FRIGORIFIQUES

2.5.1 Entretien courant

Les opérations courantes d'entretien sur les climatiseurs individuels sont les suivantes :

- ◇ Dépoussiérage du condenseur à l'air comprimé ou à l'aide d'un jet d'eau à faible pression, redressement éventuel des ailettes,
- ◇ Dépoussiérage et nettoyage des unités intérieures et extérieures à l'aide d'une éponge et d'un chiffon,
- ◇ Dépoussiérage des coffrets électriques et reserrage des connexions électriques,
- ◇ Nettoyage ou remplacement des filtres à air,
- ◇ Contrôle de l'étanchéité du circuit d'air,
- ◇ Contrôle positionnement volet d'air neuf,
- ◇ Contrôle de l'évacuation des condensats et nettoyage du bac à condensats,
- ◇ Contrôles visuels et auditifs,
- ◇ Serrage des vis et des écrous (turbine ventilateur, ...),
- ◇ Contrôle du thermostat,
- ◇ Refaire peinture sur d'éventuelles parties endommagées.

Ces opérations d'entretien sont généralement rassemblées dans des fiches de visites d'entretien programmé. Une périodicité doit être définie pour chacune des actions prévues. Par exemple, dans un environnement très poussiéreux le nettoyage des filtres pourrait être hebdomadaire, tandis que le contrôle des intensités absorbées pourrait être mensuel. Dans ces fiches que chaque prestataire élabore à sa convenance en fonction des équipements à entretenir, on retrouve généralement les informations suivantes :

- ◇ Données générales
 - nom et adresse du prestataire
 - nom et adresse du client
 - date de la visite
 - heure
 - nom et localisation de l'équipement
 - nom du technicien
 - température extérieure
 - température intérieure
 - humidités relatives extérieure et intérieure
 - date précédente visite
 - date prochaine visite...

- ◇ Vérification générale
 - nettoyage ou remplacement des filtres à air
 - nettoyage de l'évaporateur, du condenseur, du compresseur, du bac à condensats
 - contrôle de l'évacuation des condensats
 - vérification d'absence de frottements du détendeur capillaire
 - resserrage des boulons
 - vérification des fixations
 - contrôles de la carrosserie d'évaporateur et du condenseur
 - contrôle des fixations des tubes frigorifiques et des câbles électriques...

- ◇ Contrôle circuit frigorifique
 - haute pression
 - basse pression
 - charge en fluide frigorigène
 - absence de fuites
 - surchauffe
 - sous-refroidissement
 - isolations thermiques...

- ◇ Contrôle circuit électrique
 - serrage des bornes
 - contrôle isolement
 - contrôle des intensités absorbées sur chaque phase moteur et sur les autres accessoires
 - contrôle de la tension d'alimentation
 - état des câbles et des connexions électriques
 - vérification du calibre des fusibles
 - contrôle des disjoncteurs...

- ◇ Contrôle des appareils de régulation et de sécurité
 - fonctionnement du thermostat
 - réaction du relais thermique (ou klixon)
 - enclenchements et déclenchements des pressostats...

2.5.2 Tests électro-frigorifiques

Les tests électro-frigorifiques concernent d'une part le contrôle intrinsèque des constituants frigorifiques ou électriques, et d'autre part les pratiques traditionnelles à effectuer lors des travaux de réparation ou de contrôle d'un climatiseur.

Les principaux tests de maintenance sont :

- ◇ Test de protection thermique des enroulements,
- ◇ Test des enroulements moteur (mesure d'isolement),
- ◇ Test de fermeture de la vanne liquide,
- ◇ Test du pressostat différentiel d'huile,
- ◇ Test d'étanchéité des clapets basse pression et haute pression,
- ◇ Test d'acidité de l'huile,
- ◇ Vidange d'huile et vérification de la coloration,
- ◇ Contrôle du niveau d'huile,
- ◇ Contrôle des écarts de température entre l'air et le fluide frigorigène au condenseur et à l'évaporateur,
- ◇ Contrôle du fonctionnement (surchauffe, sous-refroidissement, essais des sécurités, thermostats, etc...),
- ◇ Recherche de fuites sur l'ensemble du circuit,
- ◇ Resserrage des contacts électriques et vérification de l'état des contacts,
- ◇ Vérification de la fixation des tuyauteries et du serrage des boulonneries.

Nous présenterons ci-dessous les tests les plus courants, les autres pouvant aisément être effectués en se reportant aux manuels des constructeurs. Cependant, dans le paragraphe traitant tests seront présentés

◆ **Test des enroulements (moteur monophasé)**

Un moteur monophasé dispose d'un enroulement principal (marche) et d'un enroulement auxiliaire (démarrage). Les deux enroulements ont une borne commune appelée C. Les autres extrémités sont respectivement constituées de la borne A pour l'enroulement auxiliaire et P pour l'enroulement principal. Après avoir coupé la tension d'alimentation, on utilisera un ohmètre sensible pour effectuer les mesures de résistance entre les bornes A et C, P et C, A et P. Si la valeur de la résistance en A et P est nulle, l'enroulement est en court-circuit. Si la résistance est infinie entre A et P, l'enroulement est coupé.

◆ **Test de mise à la terre**

Pour effectuer cette mesure, on recommandera l'utilisation d'un contrôleur d'isolement, en appliquant une tension de 500 V. La valeur moyenne de la résistance de terre est d'environ 5 MΩ. Il est aussi possible d'effectuer cette mesure à l'ohmètre. Si la valeur ohmique n'est pas connue, on prendra 100 ohms par volt pour les moteurs de puissances supérieures à 1 CV. Si la mesure de la résistance de terre est proche de zéro, l'enroulement est à la masse.

◆ **Test des condensateurs**

On utilisera un ohmètre à aiguille à faible sensibilité. La procédure de test est la suivante :

- ◇ Couper la tension d'alimentation et décharger le condensateur en le shuntant,
- ◇ Relier l'ohmètre à la capacité,
- ◇ Si l'aiguille se déplace rapidement vers zéro puis revient lentement, cela signifie que la capacité est bonne,
- ◇ Si l'aiguille reste en position (résistance nulle), la capacité est en court-circuit,
- ◇ Si l'aiguille ne bouge pas, indiquant une résistance infinie, la capacité est coupée.

Un gonflement anormal de la capacité signifie qu'elle est en court-circuit.

◆ **Test du relais de démarrage**

Le test du relais consiste en une vérification de la bobine et un contrôle de l'état des contacts. En général, lorsqu'on mesure la résistance de la bobine à l'ohmètre, on doit obtenir des valeurs importantes. Lors du contrôle l'état des contacts, une résistance nulle indiquera une bonne fermeture des contacts.

◆ **Test des incondensables**

Arrêter le compresseur, et mettre les ventilateurs en route (fonctionnement forcé). Après quelques minutes de fonctionnement, à l'aide d'un thermomètre on mesure les températures de l'air à l'entrée et à la sortie du condenseur. Les températures de part et d'autre du condenseur doivent être identiques. Si la température lue au thermomètre est identique à celle lue sur le manomètre haute pression, on conclut qu'il n'y a pas d'incondensables dans le circuit. Par contre si la température lue au manomètre est supérieure à celle lue au thermomètre, cela signifie qu'il y a des incondensables dans le circuit.

◆ **Tirage au vide**

Cette opération, qui nécessite l'utilisation d'une pompe à vide, permet d'évacuer l'air et surtout l'humidité du circuit avant la charge de l'installation en fluide frigorigène. La pompe à vide permet d'abaisser la pression et la température d'ébullition de l'eau qui se trouve à l'intérieur du circuit, ce qui assure une déshydratation du circuit. Pour le tirage au vide, il est conseillé d'utiliser la méthode

des trois vides* car d'une part elle donne de très bon résultats, et d'autre part elle est très pratique pour les travaux de terrain.

Méthode des trois vides :

- ◇ Tirer au vide jusqu'à environ 760 mmHg,
- ◇ Arrêter la pompe à vide,
- ◇ Casser le vide jusqu'à 0.5 à 1 bar, avec le même fluide que celui de l'équipement,
- ◇ Attendre environ 30 mn, puis évacuer la pression,
- ◇ Mettre la pompe à vide en marche jusqu'à atteindre environ 760 mmHg,
- ◇ Casser le vide une deuxième fois,
- ◇ Attendre environ 30 mn et évacuer la pression,
- ◇ Remettre en route la pompe à vide jusqu'à atteindre un vide plus poussé,
- ◇ Arrêter la pompe à vide et laisser entrer le fluide frigorigène jusqu'à l'équilibre avec la bouteille de charge,
- ◇ Enlever la pompe à vide et les flexibles, et mettre en route l'installation.

◆ **Contrôle de l'étanchéité du circuit**

Le contrôle de l'étanchéité du circuit peut être effectué, par rapport à la pression atmosphérique, en surpression (pendant qu'on casse le vide) ou en dépression (en laissant le circuit pendant un temps suffisamment long à la fin du dernier tirage au vide).

◆ **Charge en fluide frigorigène**

Cette opération se fait après le tirage au vide et le contrôle d'étanchéité. Pour les compresseurs hermétiques, la charge s'effectuera en phase gazeuse à travers la vanne d'aspiration ou le robinet de service monté sur le carter du compresseur. Le contrôle de la charge s'effectuera par la mesure des pressions et le contrôle du givrage. Lorsque la charge sera effectuée par contrôle des pressions, on notera qu'une haute pression faible indiquera un manque de fluide frigorigène, tandis qu'une haute pression élevée indiquera un excès de fluide frigorigène. Le contrôle de la charge par contrôle du givrage n'est applicable qu'aux climatiseurs équipés d'un détendeur capillaire.

Procédure :

- ◇ Tirer au vide et casser le vide (charge de sécurité de 2 bars) en opérant par la vanne départ liquide,
- ◇ Comme la pression dans la bouteille liquide est supérieure à la pression du circuit frigorifique, raccorder la bouteille de fluide frigorigène sur la vanne départ liquide et purger le flexible,
- ◇ Ouvrir la vanne départ liquide (les trois voies en communication) et laisser rentrer le fluide liquide jusqu'à l'équilibre de pression avec le climatiseur,
- ◇ S'il y a une électrovanne, l'ouvrir afin d'égaliser la basse pression et la haute pression,

- ◇ Démarrer le compresseur et contrôler la charge par le voyant liquide (un voyant avec des bulles correspond à manque de charge),
- ◇ Lorsque les bulles auront disparu du voyant, ajuster la charge en mesurant le sous-refroidissement.

2.6. REMPLACEMENT DES COMPRESSEURS HERMETIQUES

La grande majorité de climatiseurs individuels utilisés dans les pays d'Afrique sub-saharienne sont équipés de compresseurs hermétiques. La maintenance de ces compresseurs pose tellement de problèmes aux techniciens locaux que nous nous sommes permis de résumer ci-dessous une brochure technique de la société Carrier exclusivement consacrée aux problèmes électriques et mécaniques rencontrés sur ce type de matériel, en particulier après carbonisation (compresseur grillé).

Il faut signaler que le compresseur est le constituant le plus fragile du climatiseur, tant sur le plan électrique que mécanique, en particulier dans un environnement où les fluctuations du réseau électrique sont parfois très au-delà des limites prévues par les constructeurs.

Le compresseur est l'élément le plus sensible (et souvent le plus onéreux) d'un climatiseur individuel. Généralement, le diagnostic d'un climatiseur tourne autour du contrôle du compresseur et de ses accessoires. En maintenance, le compresseur est très souvent accusé à tort.

L'intérêt de ce paragraphe est de familiariser le lecteur aux techniques de contrôle et de dépannage de ce composant qui représente la bête noire d'une majorité de frigoristes débutants.

2.6.1 Test des compresseurs hermétiques

Deux types de pannes peuvent occasionner le remplacement d'un compresseur hermétique : les pannes électriques et les pannes frigorifiques.

◆ Pannes électriques

Deux types de pannes électriques peuvent provoquer le remplacement d'un compresseur hermétique, la panne de moteur ouvert à la masse, ouvert ou en court-circuit et la panne à cause des protections internes ouvertes

Les moteurs de compresseurs peuvent tomber en panne par « ouverture » lorsqu'il y a arrêt de la machine à cause de la rupture d'un ou de plusieurs enroulements. Si les fils électriques touchent la masse (carter ou stator), le moteur est dit « à la masse ».

Enfin, lorsqu'un ou plusieurs conducteurs court-circuitent une partie des enroulements du moteur, le moteur est dit en « court-circuit ».

Si le moteur est équipé d'une protection contre les surcharges par rupture de ligne, il faudra s'assurer que cette protection n'est pas ouverte.

Pendant les tests, il faudra aussi s'assurer que la température du moteur est inférieure à 46°C.

◇ Test des Thermostats pilotes internes :

- couper le courant et laisser refroidir le moteur
- enlever le couvercle de la boîte à bornes et déconnecter les fils
- régler l'ohmètre sur Rx100 Ω et chercher une éventuelle mise à la masse sur toutes les bornes. Si une mise à la masse se confirme, remplacer le compresseur
- positionner l'ohmètre sur l'échelle Rx1 Ω . Localiser les bornes du thermostat ; placer une électrode sur chaque borne du thermostat ; si l'aiguille ne se déplace pas, l'ouverture du thermostat est confirmée. Si l'aiguille indique une résistance de 0 Ω , le thermostat est fermé, chercher le problème ailleurs
- sur les compresseurs à cinq bornes, s'il n'y a pas de court-circuit, il n'est pas nécessaire de remplacer le compresseur si le thermostat est ouvert ; dans ce cas, on doit simplement remplacer le thermostat interne défectueux par un thermostat externe monté sur la ligne de refoulement

◇ Test de mise à la masse ou d'ouverture du circuit :

- couper le courant et laisser refroidir le moteur
- enlever le couvercle du bornier et déconnecter tous les fils des bornes
- utiliser un ohmètre positionné sur l'échelle Rx1000 Ω , et ajuster le point « zéro »
- placer l'une des électrodes sur la tuyauterie de refoulement en s'assurant d'un bon contact
- avec l'autre électrode, toucher toutes les bornes du compresseur, les unes après les autres. Si l'aiguille ne se déplace pas, le moteur n'est pas à la masse. Si l'aiguille indique une résistance faible ou nulle, le moteur est à la masse. Remplacer le compresseur
- si le moteur n'est pas à la masse, positionner l'ohmètre sur le calibre Rx1 Ω et régler le point zéro 0
- placer une des électrodes sur l'une des bornes du compresseur (borne C « commun »)
- avec l'autre électrode, toucher les autres bornes du moteur et noter la résistance à chaque fois. Si l'aiguille indique une résistance nulle ou zéro, cela signifie qu'il y a un court-circuit entre les bobinages. Remplacer le compresseur.
- faire le même test sur toutes les paires de bornes (C à S, C à R, R à S pour les moteurs monophasés, T1 à T2, T1 à T3 et T3 à T2 pour les moteurs triphasés), si l'aiguille indique une faible résistance, il est probable que l'enroulement soit en bon état

- moteur en bon état : pour les moteurs monophasés, l'enroulement de démarrage a une résistance de trois à six fois plus grande que l'enroulement de marche ; pour les moteurs triphasés, la résistance des trois enroulements est pratiquement identique

◇ Test des protections internes :

Presque tous les compresseurs hermétiques sont équipés d'un dispositif de protection contre les surcharges qui décèlent à la fois l'intensité absorbée et la température des enroulements. Par ailleurs, de nombreux compresseurs monophasés et tous les compresseurs triphasés disposent d'un thermostat pilote interne qui ne décèle que la température des enroulements ; de tels compresseurs comportent quatre ou cinq bornes et une protection supplémentaire externe contre les surcharges. La procédure de contrôle du système de protection contre les surcharges est la suivante :

- couper le courant et laisser refroidir le moteur
- en lever le couvercle de la boîte à bornes et déconnecter tous les fils. Consulter le schéma électrique pour localiser le circuit de protection
- régler l'ohmètre sur l'échelle $R \times 1 \Omega$
- placer une électrode de l'ohmètre sur la borne C (commun) et l'autre sur R, puis sur S
- si l'on observe une faible résistance, la protection n'est pas ouverte. Si l'aiguille ne bouge pas, soit la protection est ouverte, soit un enroulement est ouvert
- déplacer les électrodes sur les bornes R et S. Si l'on observe une faible résistance, le circuit des enroulements est bon, et l'ouverture de la protection est confirmée. Remplacer le compresseur

◆ **Pannes mécaniques**

Les problèmes mécaniques pouvant justifier le remplacement du compresseur sont : les fuites, les bruits anormaux, une faible capacité ou le grippage.

◇ Fuites

Il est fortement conseillé de jeter tout compresseur hermétique présentant une fuite sur le cordon de soudure du carter. Pour de petites fuites sur le tube de charge, on peut effectuer une soudure à l'argent.

◇ Bruits anormaux

Certains compresseurs ayant des défauts de fabrication (ressorts ou tuyauteries internes endommagés...) peuvent continuer à bien produire du froid mais en dégageant un bruit très gênant. Il est parfois possible de réduire ce bruit en entourant complètement le compresseur avec un isolant à haute densité ou de la laine de verre. Si le bruit persiste après isolation, remplacer le compresseur.

◇ Faible capacité

L'étanchéité entre les côtés haute pression et basse pression du compresseur dépend de l'état des clapets et des segments. Si ces éléments sont endommagés (par exemple à cause d'un coup de liquide), le compresseur doit être remplacé. Si le climatiseur est bien chargé en fluide frigorigène, le contrôle de l'état des clapets et des segments peut être effectué à l'aide d'un manifold et d'une pince ampèremétrique.

Au manifold, on s'en rend compte en vérifiant que l'aspiration n'aspire pas ou que le refoulement n'augmente pas (faible taux de compression). Avec une pince ampèremétrique, si l'intensité absorbée est très faible par rapport à celle indiquée sur la plaque signalétique du compresseur, cela signifie que le taux de compression est faible. Sur les compresseurs munis d'une vanne à quatre voies, il faut vérifier que la vanne ou les clapets ne sont pas coincés en position ouverte.

◇ Grippage

Il se traduit par un ronronnement du compresseur. Avant de remplacer le compresseur pour grippage, il faut d'abord vérifier toutes les conditions pouvant conduire à cette situation. Parmi ces conditions, on peut citer : faible tension d'alimentation, mauvais contact du contacteur, condensateur de démarrage ou de marche défectueux, fusible du circuit de démarrage grillé, pressions inégales dans les unités PSC, etc... ; si après toutes les vérifications le compresseur ne démarre toujours pas et continue à absorber l'intensité « rotor bloqué », le remplacer.

2.6.2 Remplacement du compresseur suite à une panne mécanique

Suite à une panne mécanique, il y a lieu de :

- ◇ Couper l'alimentation électrique et débrancher tous les fils du compresseur,
- ◇ Evacuer (récupérer ou purger) la charge de fluide frigorigène,
- ◇ Débraser et enlever le compresseur défectueux,
- ◇ Déballer le nouveau compresseur et le contrôler à l'aide d'un ohmètre (court-circuit, circuits ouverts, circuits à la masse),
- ◇ Installer le nouveau compresseur, braser les raccords de tuyauterie à l'argent (parfois il est plus facile de braser avant d'installer le nouveau compresseur). Repeindre pour éviter la rouille,
- ◇ Remplacer le déshydrateur par un nouveau de taille immédiatement au-dessus,
- ◇ Mettre le climatiseur sous pression avec du fluide frigorigène, et rechercher les fuites au niveau de tous les raccords ; purger cette charge d'essai,
- ◇ Tirer le système au vide trois fois jusqu'à atteindre au moins 6 mbar. Pendant le tirage au vide, connecter tous les câbles et fixer tous les accessoires accompagnant le nouveau compresseur (relais, condensateurs...),

- ◇ Effectuer un contrôle général et recharger le système,
- ◇ Démarrer le climatiseur et vérifier ses caractéristiques de fonctionnement.

2.6.3 Remplacement du compresseur suite à une panne électrique

Lorsque le compresseur est grillé, le technicien doit d'abord déterminer si la carbonisation est localisée (brutale, avec très peu de dégâts internes) ou totale (période plus longue, très gros dégâts à travers le système). La technique de remplacement du compresseur dépendra du type de carbonisation.

◆ Détermination du type de carbonisation

Les compresseurs grillés produisent de l'acide. Il est donc conseillé de porter des gants en plastique et des lunettes de protection avant toute intervention sur une installation avec un compresseur grillé.

- ◇ Purger un échantillon de gaz et le sentir (presque pas d'odeur en cas de carbonisation légère, forte odeur désagréable en cas de carbonisation totale),
- ◇ La pression dans le climatiseur étant relâchée, prélever un échantillon d'huile et contrôler son acidité avec un kit de test, et en déduire la sévérité de la contamination en fonction de l'indice d'acidité obtenu,
- ◇ Le compresseur étant démonté, faire pénétrer un chiffon propre à l'intérieur des tuyauteries d'aspiration et de refoulement. Si le chiffon ressort sale ou couvert de carbone, la carbonisation est totale.

◆ Remplacement d'un compresseur légèrement carbonisé

On appliquera la même procédure que pour les pannes mécaniques car une carbonisation locale suppose que les contaminants produits par la carbonisation sont restés localisés à l'intérieur du compresseur.

◆ Remplacement d'un compresseur totalement carbonisé

Lorsqu'on a une carbonisation totale ou une carbonisation répétée, on applique la procédure suivante :

- ◇ Couper l'alimentation et débrancher tous les fils du compresseur,
- ◇ Evacuer la charge en fluide frigorigène,
- ◇ Débraser et enlever le compresseur défectueux,
- ◇ Eviter tout contact entre l'huile, la peau et les yeux,
- ◇ Lire la documentation du nouveau compresseur,
- ◇ Contrôler le nouveau compresseur (circuit électrique...),

- ◇ Selon le type d'installation, démonter et contrôler les accessoires (déshydrateur, détendeur, capillaire, vanne quatre voies, réservoir de liquide,...),
- ◇ Remplacer les filtres et les capillaires sales ou contaminés. Remplacer le voyant liquide. Nettoyer au solvant, sécher et remonter sur le climatiseur les composants récupérables,
- ◇ Si à l'entrée du détendeur ou du capillaire on aperçoit de la saleté ou de la contamination, souffler de la vapeur fluide à travers tout le circuit, dans le sens opposé du débit normal du système,
- ◇ Monter le nouveau compresseur,
- ◇ Monter le nouveau filtre déshydrateur sur la ligne liquide, et en monter un autre sur la ligne d'aspiration,
- ◇ Raccorder toutes les tuyauteries et accessoires du climatiseur, et faire passer un gaz inerte à travers l'installation pendant le brasage des raccords,
- ◇ Mettre le système sous pression avec du fluide frigorigène et rechercher les fuites au niveau de toutes les liaisons. Evacuer la pression d'essai,
- ◇ Tirer au vide trois fois, jusqu'à 6 mbar au moins. Casser le vide avec le fluide frigorigène. Pendant le tirage au vide, monter les accessoires électriques accompagnant le nouveau compresseur,
- ◇ Charger le climatiseur en fluide frigorigène, le démarrer et vérifier son fonctionnement,
- ◇ Laisser fonctionner le climatiseur pendant quarante huit heures ; contrôler la chute de pression à travers le filtre monté sur l'aspiration du compresseur ; si la chute de pression dépasse 20 kPa, le remplacer. Si l'indice d'acidité est supérieur à 1 (Total Test), remplacer le déshydrateur de l'aspiration et celui de la ligne liquide. Si l'indice est inférieur à 1, on peut considérer que le système a été bien rincé,
- ◇ Vérifier à nouveau les caractéristiques de fonctionnement du climatiseur ; si elles sont correctes, l'installation est en bon état.

2.7 CONTROLE DU BON FONCTIONNEMENT DU CLIMATISEUR

Après les travaux sur un climatiseur, avant de quitter le chantier, on doit effectuer deux types de vérifications : contrôles hors tension, contrôles sous tension.

2.7.1 Contrôles hors tension (alimentation coupée)

Il faut vérifier les points suivants :

- ◇ La tension d'alimentation disponible doit correspondre à celle indiquée sur la plaque signalétique à plus ou moins 10 % près,
- ◇ Effectuer un contrôle visuel de tous les composants, les câbles et les bornes de raccordement. Rechercher les signes de surchauffe ou d'amorçage d'arc. S'assurer qu'il

n'y a pas de saleté entre les bornes de raccordement. Contrôler chaque fil (usure, coupure, décoloration, écrasement de l'isolant...),

- ◇ S'assurer que des connecteurs cuivre / aluminium sont utilisés sur tous les raccords entre fils de cuivre et fils d'aluminium ; s'assurer aussi que les raccords sont bien protégés contre l'humidité,
- ◇ Vérifier tous les disjoncteurs, les fusibles (modèle, calibre,...) et les porte-fusibles (surchauffe, relâchement des ressorts...),
- ◇ Contrôler la continuité des relais (1),
- ◇ Vérifier que le contacteur fonctionne librement,
- ◇ Vérifier toutes les protections externes contre la surcharge du compresseur (2),
- ◇ Contrôler tous les condensateurs du circuit compresseur ; les remplacer s'ils fuient ou s'ils sont boursoufflés,
- ◇ Contrôler chaque condensateur pour un circuit ouvert ou en court-circuit (3),
- ◇ Contrôler la capacité des condensateurs,
- ◇ Contrôler le thermostat d'ambiance et son support (modèle, câblage, exposition à courants d'air...),
- ◇ Contrôler le réseau de gaines de soufflage et de reprise (restriction, volets ou grilles fermés, propreté du réseau...),
- ◇ Vérifier tous les filtres à air,
- ◇ Contrôler l'hélice de la turbine de l'évaporateur (alignement, serrage, tension des courroies, ...),
- ◇ Vérification du condenseur et de la propreté de son moteur et de son ventilateur,
- ◇ Contrôle des conduites frigorifiques (difformités, coudes, torsions...).

◆ Test de continuité du relais

- ◇ Déconnecter les fils,
- ◇ Les contacts normalement ouverts (NO) doivent indiquer une résistance infinie,
- ◇ Les contacts normalement fermés (NF) doivent indiquer une résistance de 0Ω .

Il faut noter que les relais de démarrage ont des contacts fermés (résistance 0Ω) lorsqu'ils ne sont pas alimentés.

◆ Contrôle de la protection externe contre la surcharge

- ◇ Enlever les fils du dispositif,
- ◇ Placer les électrodes de l'ohmètre (échelle $R \times 1 \Omega$) sur les bornes de courant ; une résistance de 0Ω signifie que le dispositif est en bon état.

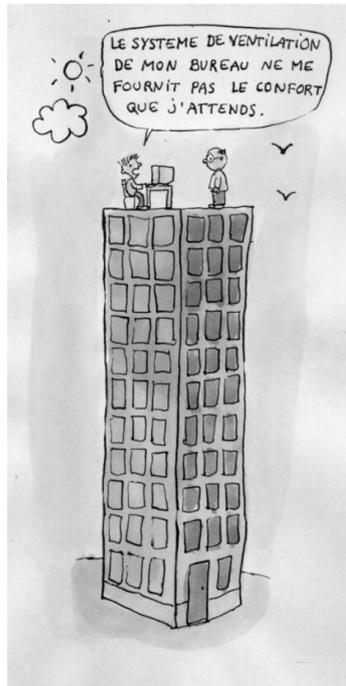
◆ **Contrôle du condensateur**

- ◇ Enlever tous les fils,
- ◇ Placer les électrodes d'un ohmètre (échelle Rx1 Ω) sur les deux bornes,
- ◇ L'aiguille doit basculer vers une valeur de faible résistance ou de résistance nulle, puis grimper vers une valeur mesurable et s'arrêter. Si ce n'est pas le cas, le condensateur est « ouvert », le remplacer. Si l'aiguille grimpe vers zéro, le condensateur est en court-circuit ; le remplacer.

2.7.2 Contrôle sous tension

Il faut vérifier les points suivants :

- ◇ Vérifier la tension d'alimentation aux bornes C et R sur les compresseurs monophasés ; elle doit correspondre à plus ou moins 10 % à celle inscrite sur la plaque signalétique du compresseur.
- ◇ Sur les compresseurs triphasés, le déséquilibre de tension entre les phases ne doit pas dépasser 2 %. Le déséquilibre de courant ne doit pas dépasser 10 %.
- ◇ Les relais de démarrage (unités monophasées CSR) peuvent être contrôlés à l'aide d'un ampèremètre. Placer la pince autour du fil allant du relais vers le condensateur de démarrage. Au démarrage, un courant doit être signalé, puis après une ou deux secondes, retomber à zéro, indiquant ainsi l'ouverture des contacts. Si aucun courant n'est décelé, cela signifie que les contacts sont coincés ouverts. Remplacer le relais. Si le courant persiste au-delà de deux secondes, les contacts sont coincés fermés. Arrêter le système et remplacer le relais. Vérifier le condensateur qui peut aussi avoir été endommagé.
- ◇ Vérifier que le réchauffeur de carter reste bien alimenté lorsque le compresseur est à l'arrêt.
- ◇ Contrôler le réglage et le fonctionnement des pressostats.
- ◇ Contrôler la charge en fluide frigorigène du climatiseur ; s'il y a un voyant, s'assurer que le fluide frigorigène est sec.
- ◇ Mesurer la basse pression et la haute pression au démarrage et pendant le fonctionnement. Contrôler la surchauffe.
- ◇ Contrôler les débits d'air à l'évaporateur à l'aide d'un anémomètre ; il faut en général 50 l/s par kW de puissance frigorifique.
- ◇ Le climatiseur est à nouveau en service normal. Prendre toutes les dispositions pour son entretien régulier.



2.8 PROBLEMES SPECIFIQUES AUX PAYS CHAUDS EN DEVELOPPEMENT

Dans de nombreux pays africains, l'exploitation et la maintenance des climatiseurs individuels souffrent d'un certain nombre de problèmes spécifiques que nous allons simplement ébaucher ci-dessous. Ces problèmes sont nombreux, mais nous n'aborderons ici que les problèmes les plus fréquents :

- ◇ La qualité du réseau électrique : les surtensions, les sous-tensions, et les micro coupures sont très fréquents. L'utilisateur doit assurer son équipement ou prendre des dispositions pour le protéger, d'autant plus qu'il y a très peu d'espoir qu'il soit dédommagé par les compagnies d'électricité. Il est par ailleurs conseillé de choisir un matériel pas très sensibles aux aléas cités plus haut.
- ◇ Le prix du kWh : en général très élevé (entre 50 et 100 F CFA selon les pays). Il est important que les Maîtres d'ouvrages et les Maîtres d'œuvres sachent que le prix de la frigorie obtenue à partir d'un climatiseur individuel est de très loin le plus élevé comparativement aux autres systèmes de climatisation. Une bonne analyse comparative devrait être effectuée avant de prescrire ce type de matériel pour des grands bâtiments (hôtels, immeubles commerciaux, ...).
- ◇ La durée de vie des climatiseurs individuels est courte, en moyenne cinq à sept ans. Cette durée de vie sera encore plus courte si les appareils sont mal entretenus. Un mauvais entretien peut provenir de l'absence totale d'entretien ou d'un entretien régulier

mais mal assuré par un technicien non qualifié ou ne disposant d'outillages d'intervention adaptés.

- ◇ La qualité des fluides frigorigènes et des huiles disponibles localement pose parfois de très gros problèmes. Certains fluides frigorigènes semblent parfois contenir un surplus d'air et d'eau, tandis les huiles ont souvent pris de l'humidité à cause du mauvais conditionnement.
- ◇ Le choix des appareils doit s'effectuer avec rigueur. Les climatiseurs individuels étant pratiquement rentrés dans le domaine du grand public, de nombreux usagers achètent un climatiseur sans effectuer le bilan thermique du local à climatiser. Par ailleurs les appareils sont souvent mal choisis car les catalogues constructeurs se réfèrent à des conditions climatiques parfois très différentes des conditions locales.
- ◇ De nombreux usagers utilisent des climatiseurs individuels sans savoir ce qu'ils peuvent en attendre réellement, et encore moins comment les manipuler. Les climatiseurs individuels avec carte électronique et télécommande, conçus dans un souci d'efficacité et de simplicité pour le confort de l'utilisateur, semble être une source de complication pour certains utilisateurs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CARRIER, *Technique de la climatisation individuelle - Description des installations les plus courantes*, Carrier Formation, 1995.
- [2] CARRIER, *Les pannes des compresseurs et leurs causes*, Carrier Formation.
- [3] CARRIER, *Service et Familiarisation compresseurs 06 D – 06 E*, Carrier Formation.
- [4] CARRIER, *Technique de service – Tout sur le remplacement du compresseur hermétique*, Carrier Formation, 1991.
- [5] KOTZAOGLANIAN, *Manuel du Dépanneur*, SARL Kotzaoglanian, 1997.
- [6] BRUN M. et PORCHER G., *Conception et calcul des procédés de climatisation*, Editions Parisiennes Chaud-Froid-Plomberie, 4^e édition, 1987.
- [7] CIAT, *Pompes à Chaleur et Groupes de Froid - Manuel Technique*, Département Formation, 1991.
- [8] DJIAKO T., *Notes de cours de Climatisation*, EIER, 1999.
- [9] DAIKIN, *How to make your Daikin air conditioner last longer - cleaning instructions*, Ltd, 1993
- [10] DAIKIN, *Manuel de maintenance - Sky Air Séries-F*, 1996.

- [11] DAIKIN, *Service Manual*, Multi, 1996.
- [12] DAIKIN, *Service Manual of electronic Circuit in Daikin Air Conditioners*, Ltd, After sales service Div., 1996.
- [13] DAIKIN, *Service Check Points - Compressors - For the prevention of erroneous diagnosis*, Ltd, 1993.
- [14] DAIKIN, *Instruction de conception et de montage - système VRV - Inverter série HJ*, 1996.
- [15] LELIEVRE B., *Pense Bête de dépannage*, Ing. Conseil, Paris, 1991.
- [16] COSTIC, *Guide de la Climatisation individuelle - nouvelle édition*, France.
- [17] DANFOSS, *Fitters Notes, System Trouble Shooting*, Nodborg, Denmark.
- [18] Catalogues constructeurs : Carrier, Airwell, Daikin, Trane, Ciat, Sharp, France Air.

CHAPITRE 3

L'AMELIORATION D'UNE INSTALLATION DE CLIMATISATION CENTRALISEE

3.1	LES GESTES DE MAINTENANCES A REALISER SUR L'INSTALLATION DE CLIMATISATION	58
3.1.1	Qualité de la filtration	58
3.1.2	Equilibrage du réseau aéraulique et hydraulique	59
3.2	DIMINUTION DES APPORTS SOLAIRES	62
3.2.1	Protections solaires	62
3.2.2	Autres techniques	63
3.3	L'AMELIORATION DE L'ETANCHEITE DU BATIMENT	65
3.4	LA DIMINUTION DES CHARGES INTERNES (ECLAIRAGE, BUREAUTIQUE)	65
3.5	LA DIMINUTION DES CHARGES DE VENTILATION	68
3.5.1	Quantités admissibles d'air neuf	68
3.5.2	Programmation des débits des ventilateurs	68
3.5.3	Exploitation de l'air neuf	69
3.5.4	Vérification de la qualité mécanique des ventilateurs	70
3.5.5	Vérifier le système d'extraction	72
3.6	AJUSTER LES NIVEAUX DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE	73
3.6.1	Niveau de température	73
3.6.2	Niveau d'humidité	74
3.7	ADAPTER LA TEMPERATURE D'EAU GLACEE	74
3.8	AMELIORER LA REGULATION EXISTANTE DE LA CLIMATISATION	75

3.1 LES GESTES DE MAINTENANCES A REALISER SUR L'INSTALLATION DE CLIMATISATION

3.1.1 Qualité de la filtration

L'air neuf introduit dans les installations de ventilation est chargé de poussières et d'impuretés. Il est donc nécessaire de le filtrer pour retenir une partie de ces particules selon les besoins de la qualité de l'air et pour maintenir un rendement élevé des équipements (qualité de l'échange thermique)

Les filtres doivent être nettoyés régulièrement (1 à 3 mois suivant l'agressivité de l'ambiance). Une bonne façon de mesurer le niveau d'encrassement des filtres est de placer un déprimomètre prenant mesure de la pression de part et d'autre du filtre et, suivant l'indication lue, de prévoir le planning pour les remplacements ou le soufflage – nettoyage des filtres.



Figure 3.1 *Filtre d'un groupe de traitement d'air*

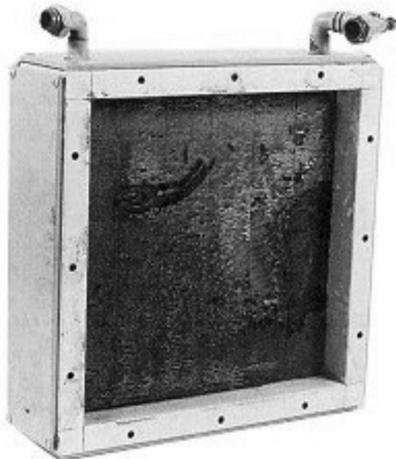


Figure 3.2 *Batterie encrassée suite à une mauvaise filtration*

Les prescriptions à suivre sont celles du fabricant sur la perte de pression maximale au delà de laquelle le filtre doit être changé. Il est utile d'indiquer la valeur de remplacement des filtres à côté du déprimomètre.

Pour une facilité de gestion, surtout au niveau de la logistique du service de maintenance, il est souhaitable de standardiser l'utilisation des filtres. Un ou deux modèles courant de filtres seront plus faciles à gérer que de nombreux filtres différents les uns de autres, en taille et en efficacité....

3.1.2 Equilibrage du réseau aéraulique et hydraulique

Un déséquilibre thermique dû a des causes temporaires (vannes ou registres fermés, ensoleillement, loi de régulation imprécise, etc.) ou permanentes (installations mal dimensionnées), entraîne un inconfort au niveau des occupants, un gaspillage d'énergie et un mauvais fonctionnement des installations de régulation.

◆ **Exemple**

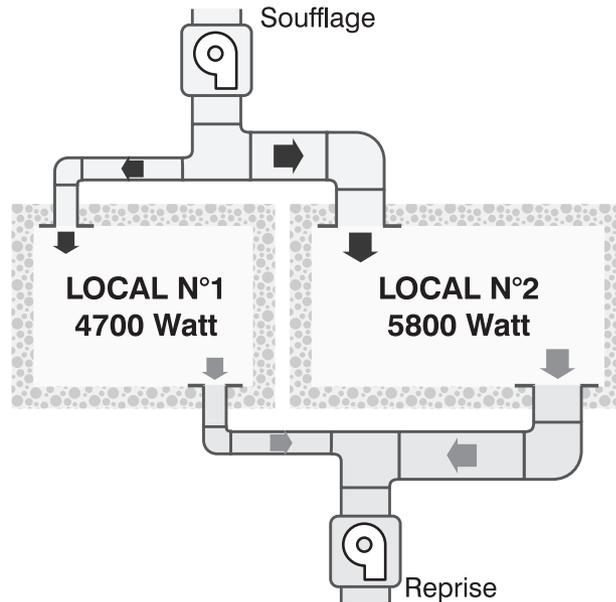


Figure 3.3 Schéma aéraulique de l'installation

Le local n°1 nécessite une puissance frigorifique de 4.700 W

Le local n°2 nécessite une puissance frigorifique de 5.800 W

Le débit d'air frais à 16° amené par le réseau de gaine dans un local à 26° :

local n°1 :

$$\text{Puissance} = \text{Débit} \times C_{\text{air}} \times \text{DT}$$

$$\text{Débit} = 4.700 / 0,33 \times 10^{\circ} = 1424 \text{ m}^3/\text{h}$$

local n°2 :

$$\text{Puissance} = \text{Débit} \times C_{\text{air}} \times \text{DT}$$

$$\text{Débit} = 5.800 / 0,33 \times 10^{\circ} = 1758 \text{ m}^3/\text{h}$$

La vitesse d'air maximum tolérée dans ce projet est de 6 m/s dans les gaines de reprise.

On en déduit les sections (sur base de Débit = Surface x Vitesse) :

- local n°1 : $S = D / V = 1.424 / (3.600 \times 6) = 0,066 \text{ m}^2$
- local n°2: $S = 1.758 / (3.600 \times 6) = 0,081 \text{ m}^2$

soit approximativement 20% de la surface en plus pour la gaine du local 2 par rapport au local 1.

◆ Conclusion

Si par facilité, les conduits ont été dimensionnés avec des sections identiques, les débits d'air pulsés ne permettront pas d'apporter les puissances requises. Equilibrer l'installation, c'est ajuster les débits d'air aux besoins réels de chaque local.

En pratique :

Contrôler l'équilibrage des installations hydrauliques, en effectuant régulièrement des mesures :

◇ Des températures intérieures des locaux

On notera que des mesures instantanées sont à prendre avec beaucoup de prudence. La manipulation des registres ou des vannes produit des effets décalés dans le temps suite à l'inertie du bâtiment, l'heure dans la journée où les mesures sont faites, etc... Il est conseillé de cibler les locaux qui posent problème, de les situer sur plan du réseau aéraulique, de déterminer les vannes ou registres correspondantes et seulement alors d'entamer des mesures de température, de préférence sur une période de plusieurs jours couvrant l'ensemble de l'horaire d'utilisation des locaux. Il existe des enregistreurs de températures à papiers ou électroniques .

◇ Des débits d'eau

S'il est aisé de mesurer le nombre d'heures de fonctionnement d'une pompe centrale via un compteur horaire mécanique et d'en déterminer le débit (grâce aux données du fabricant), il sera moins évident de déterminer les débits sur les réseaux hydrauliques secondaires s'ils ne sont pas munis de pompes et d'anti-retour placés judicieusement. Dans ce cas, sur le ou les réseaux à problèmes, situer les vannes et agir progressivement par quart de tour, tout en ayant la patience d'effectuer après chaque manipulation des mesures de températures pour évaluer les effets. Attention : à nouveau les mesures de températures doivent être faites sur des périodes significatives.

◇ Des débits d'air

La prise de mesure instantanée ou enregistrée dépend de la position de la sonde. A la sortie d'une bouche de pulsion, la turbulence de l'air peut fausser de manière importante les relevés. Il est conseillé de prendre plusieurs mesures sur base d'un découpage de la

surface de la grille et d'établir une moyenne des relevés pratiqués. Il existe des normes précises sur ce sujet.



Figure 3.4 *Mesure du débit dans un conduit*



Figure 3.5 *Mesure du débit à la sortie d'une bouche*

Effectuer si nécessaire, un rééquilibrage complet par une société spécialisée. C'est la solution la plus simple mais certainement la plus onéreuse, les sociétés pour des travaux de ce type (fins réglages) risquent de présenter une facture importante,

Contrôler les appareils de régulation et de programmation. Ce contrôle s'étend de la salle des machines (pressostats...) jusqu'aux thermostats dans les locaux, en passant pour toutes les vannes motorisées. Pour la compréhension du fonctionnement global, il est utile d'établir au départ les schémas d'installation pour y positionner chaque appareil relevé.

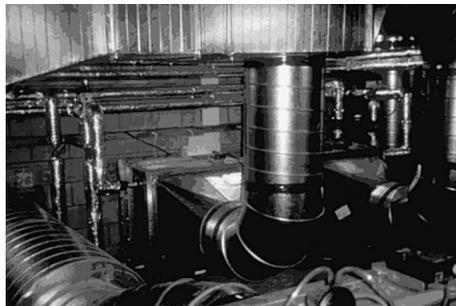


Figure 3.6 *L'encombrement des conduits d'air ne facilite pas la maintenance*

3.2 DIMINUTION DES APPORTS SOLAIRES

3.2.1 Protections solaires

En rénovation, il peut être économique de placer des écrans solaires extérieurs sur les vitrages de type clair ou teinté. Par contre, si les vitrages sont de type réfléchissant, il n'est pas économique de concevoir des protections extérieures.

Le coût financier est souvent fort élevé en construction existante. Néanmoins, il existe des solutions peu coûteuses avec des matériaux locaux. Par exemple, la façade Sud peut être munie de NACO inclinables sur chaque fenêtre.

Mais un tel exemple ne s'applique pas à des immeubles fort élevés, suite à la pression du vent.

Une bonne protection solaire doit intercepter le rayonnement incident mais ne doit pas trop l'absorber pour ne pas elle-même s'échauffer; le rayonnement intercepté doit donc être principalement réfléchi.

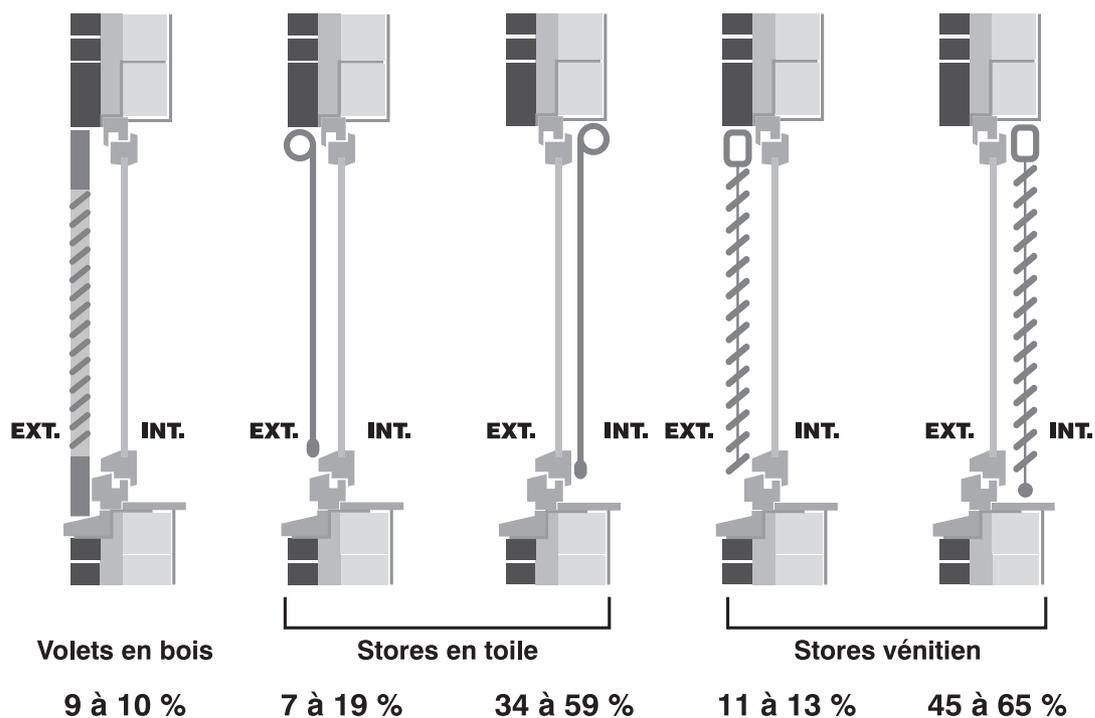


Figure 3.7 Facteurs solaires de différentes protections solaires pour un vitrage simple

La maîtrise du flux solaire entrant s'apprécie par le facteur solaire de la baie munie de sa protection. Il est égal au rapport du flux pénétrant dans le local au flux du rayonnement incident sur la baie (voir Tableau 1.14 du tome1).

Les protections mobiles placées à l'extérieur du vitrage sont les plus efficaces, notamment si elles sont bien ventilées. L'efficacité de ces produits, volets, stores, persienne est fonction à la fois de leur opacité permettant le plus faible facteur solaire, de leur teinte, mais aussi de leur position plus ou moins rapprochée de la façade.

Equipements	Protection solaire	Isolation thermique	Visibilité - Eclairage naturel des locaux
<i>Extérieur</i>			
A lames orientables en aluminium	***	**	***
Ecran textile de verre	**	*	***
Volet roulant en aluminium	***	***	*
<i>Intérieur</i>			
Ecran textile	-	-	**

*** Grande performance

** Satisfaisant

* Acceptable

- Inadapté

Tableau 3.1 Critères de choix d'une protection solaire

	Simple vitrage
Store toile Assez transparent Extérieur	0,21 - 0,25
Brise soleil Lames orientables	0,13 - 0,14
Venitien Intérieur	0,45 - 0,65
Store toile Opaque intérieur	0,35 - 0,47

Tableau 3.2 Facteur solaire de différentes protections solaires

On considère qu'une protection solaire pour être réellement efficace doit avoir un facteur solaire inférieur ou égal à 0,20.

Les stores intérieurs, même opaques, présentent des facteurs solaires trop élevés. Ils sont surtout utiles pour lutter contre l'éblouissement.

3.2.2 Autres techniques

D'autres techniques de protection sont possibles dont :

- ◇ La création de double toit,
- ◇ La création d'écrans naturels (arbres, haies...),
- ◇ La peinture de couleur claire sur les façades ensoleillées,
- ◇ La création de sas d'entrée pour créer des volumes tampons,
- ◇ Le placement de fontaines d'eau à proximité du bâtiment ou dans les halls, ...

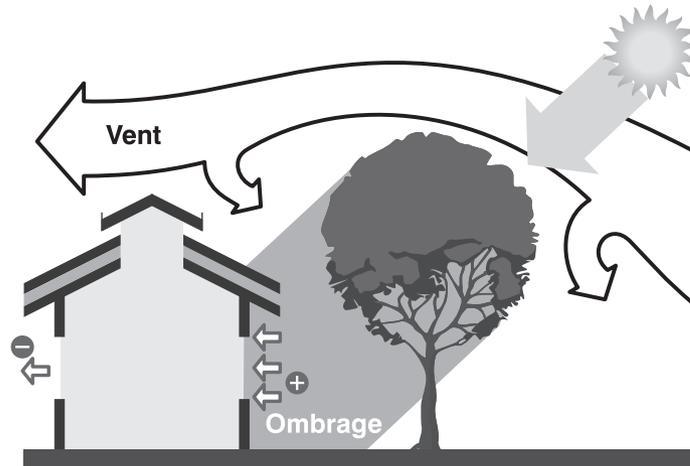


Figure 3.8 Techniques de protection naturelles



Figure 3.9 Patio de l'Acequia du Generalife à Grenade (Espagne)

3.3 L'AMELIORATION DE L'ETANCHEITE DU BATIMENT

Des moyens efficaces de calfeutrement et de jointement doivent être utilisés pour assurer l'étanchéité à l'air des parois extérieures des parois du bâtiment (par exemple, éliminer les fuites d'air dans la salle de mécanique). De tels calfeutremments ou joints concernent :

- ◇ Le pourtour des cadres dormants des fenêtres et des portes, en assurant leur maintenance face aux conditions climatiques difficiles qui endommagent très rapidement les joints, les protections synthétiques, les bois s'ils ne sont pas traités efficacement, etc...
- ◇ Les cadres des dispositifs (traversant les murs, les planchers ou la toiture) nécessaires au passage des utilités,
- ◇ Le traitement des joints de façade (joint de dilatation ou de construction).

Il est possible également de :

- ◇ Poser des affiches sur les portes qui doivent être maintenues fermées pour contrôler l'infiltration ou le mouvement d'air dans l'immeuble (particulièrement au rez-de-chaussée et au dernier étage de l'immeuble). Equiper ces portes de " rappel de portes " , prévoir des butées au sol, etc.
- ◇ Limiter le nombre de portes extérieures car elles laissent constamment passer l'air neuf en général très chaud. En moyenne, une porte battante laisse passer 1500 m³/h (ou 936 m³/h avec un vestibule); une porte tambour admet 108 m³/h. Dans le cas de doubles portes, il peut être possible d'en condamner une le temps d'autres travaux,
- ◇ Etudier la possibilité de réguler différemment le rez-de-chaussée,
- ◇ Remplacer les vieilles fenêtres détériorées avec vitre clair par de nouvelles fenêtres à verre teinté ou réfléchissant,
- ◇ Remplacer ou modifier les fenêtres en bon état de verre clair par des fenêtres à verre teinté ou réfléchissant.

3.4 LA DIMINUTION DES CHARGES INTERNES (ECLAIRAGE, BUREAUTIQUE)

Pour des besoins de confort, le niveau d'éclairage sera au minimum ceux donné dans le tableau 3.4 Néanmoins, tout en respectant ces niveaux, la densité d'éclairage ne devrait pas excéder celles données dans le tableau 3.3.

Bâtiments et usages type	Densité moyenne d'éclairage [W/m ²]
Immeubles de bureau	17
Banques	22
Etablissements scolaires	
Maternelles, primaire	16
Lycées/ enseign.tech./université	18
Maternités	19
Lieux de culte	16
Réceptifs hôteliers	
Chambres (1)	13
Parties communes	12
Salle de banquet et exposition	22
Restaurants	
Type cafétéria	14
Type restaurant de luxe	16
Bar et réception	16
Magasins	
Boutiques et étalages (2)	22
Galleries marchandes	13
Salon de coiffure / soins de beauté	22
Appartements	21
Entrepôts et magasins	3
Parkings / garages	2
Locaux non occupés	2

(1) Un supplément d'éclairage peut être admis pour les postes de travail

(2) S'applique à toute l'installation d'éclairage, y compris les spots décoratifs et les projecteurs

Tableau 3.3 Densité moyenne de puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur des bâtiments (méthode statistique)

Bureaux et locaux administratifs	lux	Locaux techniques	lux
Bureau de travaux généraux	500	Salle de contrôle	300
Dactylographie	500	Salle des machines	100
Salle d'informatique	500	Salle de garde	300
Salle de dessin (tables)	750 - 1000	Réserves, entrepôts	100 - 300
Etablissements d'enseignement		Hôpitaux	
Salle de classe	300	Salle d'urgence	1 000
Tableau	500	Chambre de malade	50 - 300
Amphithéâtre	300	Salle d'attente	150
Laboratoire	500	Circulations	150
Salle de dessin d'art	500	Services généraux	300 - 750
Bibliothèque, salle de lecture	500	Laboratoire	300
Magasins		Habitations	
Boutique	300	Activité de lecture, travail d'écolier	300
Libre service, grande surface	500	Couture	500 - 750
Salon de coiffure	750	Chambre (éclairage localisé)	200
Circulations (galeries marchandes)	150	Préparation culinaire	300
Commerces spécialisés	300- 750	Bricolage (suivant activité)	300
Circulations		Espaces extérieurs	
Couloir, escalier	100 - 300	Entrée, cour, allée	30
Ascenseur	200	Voie de circulation couverte	50
Locaux non occupés	20 - 50	Dock et quai	75
Aéroports, gares, postes		Lieux de culte	
Salle des pas perdus	150	Nef	100
Guichet	500	Choeur	150
Banques		Salles de sport, gymnases	
Hall public	300	Salle d'entraînement	300
Guichet	500	Salle de compétition	500 - 1000
Hôtels		Salles de spectacle	
Réception, hall	300	Foyer	150
Salle à manger	200	Amphithéâtre	100
Cuisine	300	Salle de cinéma	50
Chambre (éclairage localisé)	200	Salle des fêtes	300
Salle de bains	150		
Expositions, musées			
Salle d'exposition publique	500		

Tableau 3.4 Niveau d'éclairage moyen en service

3.5 LA DIMINUTION DES CHARGES DE VENTILATION

Toute entrée d'air chaud extérieur, volontaire ou parasite, génère une consommation supplémentaire du système de climatisation. Il est utile de contrôler ce débit en fonction des besoins hygiéniques des occupants.

De plus, la réduction de ce débit diminuera la consommation électrique des ventilateurs.

3.5.1 Quantités admissibles d'air neuf

Les quantités d'air neuf admissibles sont les quantités minimales capables de satisfaire les exigences de renouvellement d'air du local et de maintenir une bonne qualité de l'air ambiant. Les valeurs recommandées dans le tableau 1-14 du tome 1 sont à vérifier dans les bâtiments existants : on évaluera le nombre réel d'occupants et on ajustera les minima d'air neuf.

3.5.2 Programmation des débits des ventilateurs

La consommation d'énergie électrique des ventilateurs est un poste de coût très important (plus de 20% de la consommation de l'installation de climatisation).

Très généralement, un ventilateur est installé lors de la construction du bâtiment ou lors d'une rénovation importante. Ensuite, il tourne dans les conditions d'installation initiales pendant toute sa durée de vie.

En cas de défaillance, il est remplacé par un modèle de même type, sans que l'on se pose la question de savoir si un modèle avec d'autres caractéristiques ne conviendrait pas mieux ...

Or, lors de la sélection du ventilateur, le point de fonctionnement souhaité est déterminé théoriquement en définissant le débit nécessaire et en calculant les pertes de charge du circuit pour ce débit. Ce calcul est souvent approximatif surtout s'il s'agit d'un circuit ancien, modifié à plusieurs reprises.

Il s'en suit que "par mesure de sécurité", les pertes de charge sont surévaluées et que le ventilateur choisi fournit un débit plus grand que nécessaire. La perte de charge réelle est en effet inférieure à celle qui a servi de base à la sélection

Si les débits relevés dans le bâtiment sont plus importants que les valeurs recommandées, il est possible à faible coût de diminuer la vitesse du ventilateur de façon permanente :

- ◇ Si le ventilateur comprend des aubages de prérotation (ventilateurs centrifuge et hélicoïde) ou des pâles à angle variable (ventilateur hélicoïde), un nouveau réglage permet d'adapter les débits,
- ◇ Si le ventilateur est entraîné par courroies, il suffit de changer le rapport des diamètres des poulies du moteur et du ventilateur,

$D2 = (n1 / n2) \times D1$	(changement de la poulie du ventilateur)
----------------------------	--

$$D2 = (n2 / n1) \times D1 \quad (\text{changement de la poulie du moteur})$$

D1 et n1 = diamètre de la poulie et vitesse de rotation d'origine

D2 et n2 = diamètre de la nouvelle poulie et nouvelle vitesse de rotation

- ◇ Si le moteur du ventilateur possède plusieurs vitesses, une commutation sur une vitesse inférieure peut s'avérer suffisante. Cette commutation peut être automatique selon un programme horaire et/ou de disposer d'un programme manuel. Cette solution est nécessaire si l'occupation des locaux est très variable dans le temps,
- ◇ Il est possible également d'agir via un variateur électronique de vitesse.

Ces actions sont rapidement rentabilisées, par la diminution des besoins de climatisation de l'air neuf et par la diminution de la consommation électrique du ventilateur (la consommation électrique varie comme le cube de la vitesse de rotation).

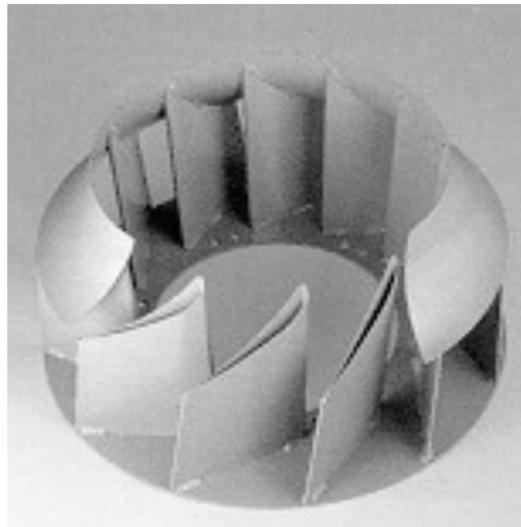


Figure 3.10 Le ventilateur à aubes arrières est à haute performance énergétique

3.5.3 Exploitation de l'air neuf

Il est recommandé, le matin avant l'arrivée des occupants, de fermer les volets d'air neuf pour mettre le système en totale re-circulation. Cette méthode a l'avantage de limiter la charge des équipements

frigorifiques pendant que la bâtiment est vide, tout en maintenant le bâtiment au frais. Lorsque les occupants arrivent, la régulation sur les clapets d'air commence à agir progressivement et la charge sur les compresseurs augmente.

- ◇ Ajuster l'horaire de fonctionnement (arrêt-départ) du système, selon l'horaire actuel d'occupation. Si le système doit toujours fonctionner, on devra faire re-circuler l'air en période inoccupée,
- ◇ S'il existe des périodes d'inoccupation durant la journée, la programmation devient impérative : c'est durant les heures de journée que le tarif des sociétés de production d'électricité est le plus onéreux. Il est donc vivement conseillé de faire tourner l'installation en re-circulation d'air (tout air recyclé),
- ◇ Vérifier si les volets motorisés des prises d'air vicié fonctionnent convenablement,
- ◇ L'impact de ce mauvais fonctionnement est identique à la mauvaise programmation comme repris dans le paragraphe précédent. Evidemment la réparation s'impose,
- ◇ Limiter au strict minimum, en période inoccupée, le temps de fonctionnement des systèmes de ventilation. Généralement ces systèmes peuvent fonctionner sur demande seulement pour maintenir le réajustement automatique des températures en période inoccupée. Lorsque ces températures sont satisfaites, les systèmes sont mis à l'arrêt. Si le système ne peut être arrêté en période inoccupée, mesurer l'étanchéité des volets d'air neuf lorsque les systèmes fonctionnent en re-circulation et les remplacer si besoin,
- ◇ Fermer les volets d'air frais une heure avant le départ des occupants,
- ◇ Lorsque les systèmes fonctionnent en cycle économiseur (possibilité d'admettre 100% d'air pour fin de climatisation) amener les volets à leur position de maximum d'air neuf lorsque la température extérieure est inférieure à 21°C (exemple : période d'harmattan par exemple),
- ◇ Réduire le débit des systèmes et chercher à satisfaire les conditions moyennes de climatisation et non les situations les plus critiques,
- ◇ Accepter quelques manques de confort à certains endroits dans l'immeuble. Rééquilibrer le système en fonction des charges réelles dans les locaux et réévaluer le débit total nécessaire,
- ◇ Si la pression statique ou le débit du système est trop élevé, abaisser la vitesse de rotation du ventilateur en changeant les poulies d'entraînement. Installer lorsque cela est possible des poulies à pas variable et procéder par essais successifs,
- ◇ S'assurer que les capacités des ventilateurs d'alimentation, de retour et d'extraction d'air soient telles qu'elles maintiennent une pression légèrement positive dans un secteur du bâtiment (maintien en surpression qui limite les entrées d'air par infiltration),

3.5.4 Vérification de la qualité mécanique des ventilateurs

Pour diminuer le risque de casse et améliorer l'efficacité énergétique de la transmission, les différents points ci-dessous seront vérifiés :

- ◇ Lubrifier les coussinets pour éliminer la friction et réduire l'usure,
- ◇ Enregistrer l'ampérage du moteur et installer la force requise lors d'un remplacement ou une fois que le débit final du système est ajusté,
- ◇ S'assurer du bon alignement des poulies,

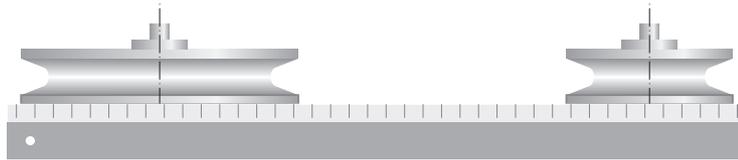


Figure 3.11 Alignement des poulies

- ◇ Vérifier l'état et la tension des courroies.

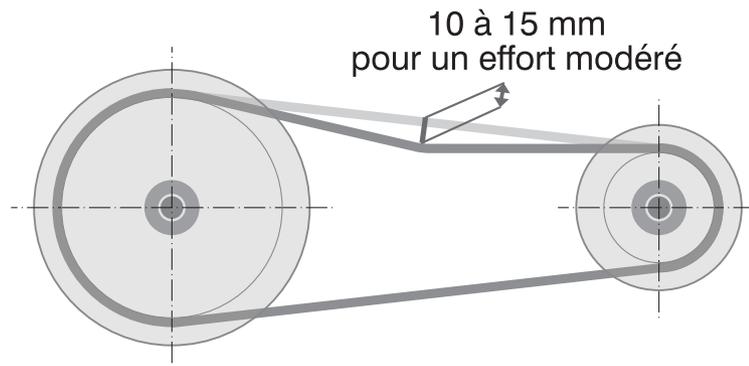


Figure 3.12 Tensions des courroies d'entraînement

Les courroies se rencontrent principalement dans les caissons de traitement d'air. Elles sont la liaison physique entre le moteur électrique et les ventilateurs de pulsion ou d'extraction.

Comme tout autre matière synthétique, l'usure est la principale cause de leur remplacement. L'excès d'usure conduira inévitablement à la rupture de la courroie.

Bien qu'une courroie ne soit jamais seule à assurer la liaison entre le moteur électrique et la turbine, il faut éviter à tout prix les courroies manquantes dans la transmission.

Exemple :

Si quatre courroies sont nécessaires pour entraîner une turbine, il est conseillé que leur vieillissement soit identique afin que la répartition des forces sur les courroies soient similaires entre elles. En effet, le remplacement d'une courroie sur quatre accentuera la force sur cette nouvelle courroie au détriment des trois premières. Un frottement moindre pour les trois premières

courroies déplacera les forces vers la nouvelle courroie. Après quelques semaines ce transfert des forces peut faire bouger les axes du moteur et de la turbine avec comme conséquence de ne plus pouvoir adapter de nouvelles courroies. Les axes ne seront plus tout à fait parallèles entre eux.

A Brazzaville, dans l'immeuble abritant une société d'assurance bien connue, sur quatre courroies d'entraînement d'une turbine de soufflage, une seule était en place depuis plusieurs mois. Pourquoi les autres avaient-elles disparus, nul ne le sait, mais toute la ventilation de l'immeuble de ne tenait qu'à cette courroie. De plus, pour l'ensemble de l'immeuble, il était impossible d'ouvrir les fenêtres. Dès la rupture de la dernière courroie, le taux d'humidité aurait augmenté et provoqué des dommages importants.

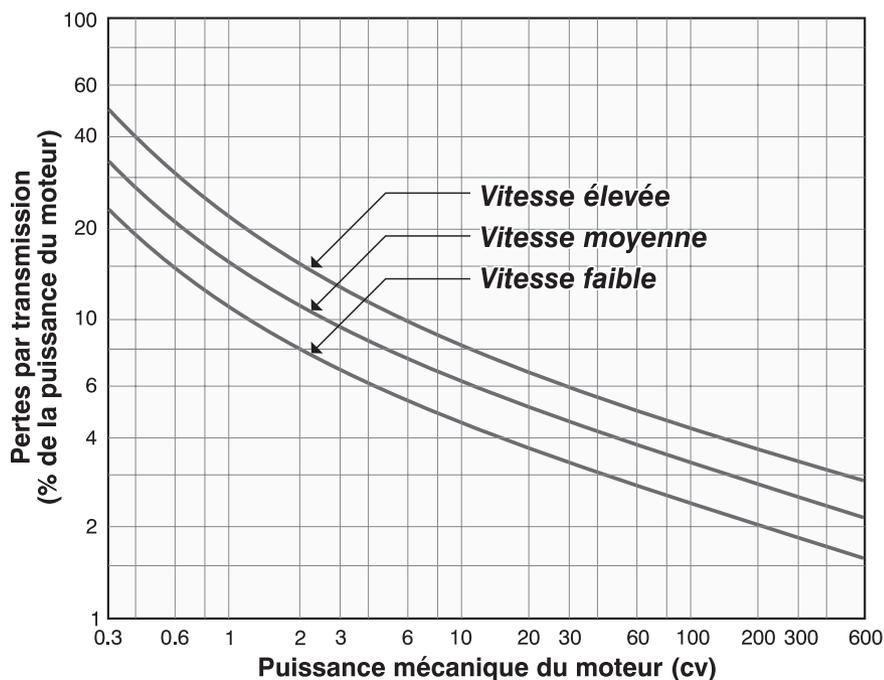


Figure 3.13 Perte par transmission des courroies

3.5.5 Vérifier le système d'extraction

De même, quelques règles de bonne maintenance :

- ◇ S'assurer de la nécessité de tous les extracteurs et réexaminer les débits selon les besoins,

- ◇ Commander automatiquement l'arrêt de tous les extracteurs pour empêcher un fonctionnement inutile à la suite d'oubli. Une ou même deux méthodes à la fois peuvent être utilisées. Ces méthodes sont :
 - Arrêt commandé avec le cycle " inoccupation " du système de ventilation de l'espace,
 - Arrêt commandé par l'éclairage du local (petite salle de toilette),
 - Arrêt commandé par une minuterie de 7 jours,
 - Arrêt commandé par une minuterie de quelques heures(60 minutes pour extracteur d'atelier, de laboratoire, etc),
 - Arrêt commandé avec l'arrêt des équipements.
- ◇ Installer des récupérateurs de frigories (échangeurs de chaleur) entre l'évacuation d'air vicié et l'admission d'air neuf. La rentabilité peut être justifiée par une économie d'énergie et une réduction des capacités des systèmes requis pour la climatisation,
- ◇ Installer des volets motorisés sur la gaine d'extraction pour éviter l'effet de cheminée,
- ◇ Au départ des différents ventilateurs d'extraction rejetant l'air fourni par un autre système, il y a lieu de permettre un réajustement des volets d'air vicié et d'air neuf pour éviter une pression négative et un trop grand rejet d'air à l'extérieur,
- ◇ Lorsqu'une même minuterie doit commander un extracteur et le fonctionnement du cycle " occupation " d'un système de ventilation, il faut prévoir l'arrangement requis pour éviter une pression négative, tant durant l'occupation que durant l'inoccupation.

3.6 AJUSTER LES NIVEAUX DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE

Il n'est pas correct de dire qu'un individu se trouve dans les conditions de confort thermique à une certaine température donnée (exemple 24°C). La notion de confort dépend de facteurs divers et subjectifs, toutes mesures de température doivent toujours se rapporter à une valeur moyenne. Les niveaux de température recommandés ne sont que des valeurs moyennes qui peuvent être considérées dans chaque cas particulier.

Par ailleurs, les facteurs températures et hygrométrie étant intimement liés, les conditions de confort seront sensiblement équivalentes s'il y a une augmentation de la température et une diminution du degré hygrométrique ou inversement.

3.6.1 Niveau de température

A chaque zone climatique correspond une température et humidité relative moyenne au cours de l'année. Ainsi, pour les niveaux de température d'ambiance, plus on s'approchera du climat tropical sec (proche du type désertique), et plus la température sera élevée et le niveau d'humidité faible.

Les gestionnaires s'efforceront d'adapter les niveaux de températures pour éviter le sur-refroidissement qui entraîne une surconsommation d'énergie et problèmes de choc thermique entre l'intérieur et l'extérieur. En général, on tolère des écarts de 6 à 12°C maximum entre l'intérieur et l'extérieur.

Exemple :

Température extérieure	31°C	35°C	40°C
Température intérieure	25°C	26°C	28°C
Ecart de température	6°C	9°C	12°C

Tableau 3.5 Adaptation de la consigne de température intérieure

3.6.2 Niveau d'humidité



Figure 3.14 Hygromètre

Les recommandations comme le cas précédent doivent être adaptées en fonction de la zone climatique.

Les niveaux d'humidité préconisés sont en rapport avec ceux du milieu extérieur de la zone climatique. Plus l'hygrométrie extérieure est élevée et plus le niveau recommandé l'est. Mais il apparaît en tous cas que l'on peut maintenir la déshumidification à un niveau qui assure au plus bas 60% d'humidité relative dans les locaux desservis.

Une uniformisation du taux d'humidité nécessiterait des quantités importantes d'énergie pour la déshumidification dans certaines zones.

3.7 ADAPTER LA TEMPERATURE D'EAU GLACEE

La température de sortie d'eau glacée du groupe est un facteur déterminant de la consommation d'énergie du groupe froid. Il détermine le régime de fonctionnement du groupe. Une augmentation de cette température de l'ordre de 3°C peut entraîner une économie d'énergie de l'ordre de 10% sur la consommation d'énergie du groupe froid.

Toutefois, on ne pourrait augmenter cette température de façon illimitée, surtout en climat tropical humide. En effet c'est la valeur de cette température qui déterminera le degré hygrométrique dans le local. Les consignes doivent être les suivantes :

- ◇ Entre 6°C et 8°C selon la température extérieure en climat tropical humide,
- ◇ Entre 6°C et 10°C, selon la température humide en climat tropical sec.

3.8 AMELIORER LA REGULATION EXISTANTE DE LA CLIMATISATION

Les fonctions principales utiles à une bonne maîtrise des consommations, pour les systèmes centralisés de climatisation, sont les suivantes :

- ◇ Régulation centrale de température de soufflage qui peut être réglée :
 - Soit en fonction de la température extérieures et/ou de l'ensoleillement, selon une loi de compensation,
 - Soit en fonction des besoins terminaux, mesurés par le niveau d'ouverture des vannes ou des registres des terminaux. Cette solution est préférable lorsque les apports sont très différents d'un local à l'autre.
- ◇ Arrêter la batterie froide durant les périodes de re-circulation, ou mieux : asservir les volets d'air à la programmation centrale qui a été faite en fonction des heures d'occupation ou pas,
- ◇ Déterminer les meilleurs endroits pour les transmetteurs de contrôle et les re-localiser au besoin afin d'assurer le meilleur rendement possible. Par exemple, le thermostat pour le contrôle de température de l'air de mélange doit être installé après le ventilateur,
- ◇ L'arrêt de l'installation la nuit et les week-ends.

Dans tous les cas de figure, il faut adapter les horaires de fonctionnement des installations de climatisation à l'occupation des locaux. En clair pour les locaux de bureaux par exemple il convient de les arrêter systématiquement la nuit et les week-end. Cette mesure permet quelque le type de climat de générer des économies de l'ordre de 15 à 30% de la consommation de l'appareil.

Toutefois, pour que cette mesure soit acceptée par les occupants du bâtiment, on prendra soin de redémarrer les installations avant l'arrivée des occupants. L'heure de démarrage sera surtout fonction de l'inertie de l'installation.

- ◇ Pour les installations à détente directe de faible puissance, il faudra redémarrer l'installation au moins une heure avant l'arrivée des occupants,
- ◇ Pour les installations à détente directe de forte puissance, il faut redémarrer l'installation au moins deux heures avant l'arrivée des occupants,
- ◇ Pour les installations de production d'eau glacée, il faut redémarrer l'installation au moins trois heures avant l'arrivée des occupants.

CHAPITRE 4

L'AMELIORATION DE LA MACHINE FRIGORIFIQUE ASSOCIEE

INTRODUCTION : LE DOUBLE ROLE DU "RESPONSABLE-ENERGIE"	79
4.1 L'ENTRETIEN DES ECHANGEURS	80
4.1.1 Quel impact énergétique d'une absence d'entretien du condenseur ?	80
4.1.2 Quel impact énergétique d'une absence d'entretien des évaporateurs ?	82
4.1.3 Quel impact hygiénique de l'absence d'entretien ?	83
4.2 CONTROLER LES PRESSIONS ET LE NIVEAU DE FLUIDE FRIGORIFIQUE	84
4.3 LIMITER LES FUTITES DE FLUIDES FRIGORIGENES	86
4.3.1 La qualité de l'installation	86
4.3.2 Les indices de fuites éventuelles	87
4.3.3 La recherche des fuites	87
4.4 CONTROLER LE NIVEAU D'HUILE	89
4.5 TESTER L'ACIDITE DE L'HUILE	90
4.5.1 Pourquoi un test d'acidité ?	90
4.5.2 Que peut-on analyser ?	91
4.6 CONTROLE DES HORLOGES DE DEGIVRAGES	92
4.7 CONTROLE DE L'INTENSITE ELECTRIQUE AU COMPRESSEUR	92
4.8 PLACEMENT D'UN COMPTEUR HORAIRE SUR LE COMPRESSEUR	94
4.9 MODIFICATION DE LA REGULATION DU CIRCUIT FRIGORIFIQUE	95
4.9.1 Comment modifier ?	95
4.9.2 Quelles interventions ?	96
4.9.3. Placer une vanne de réinjection de gaz chauds ?	97
4.9.4 Modification de la régulation de puissance des compresseurs	98
4.10 RECUPERATION DE CHALEUR AU CONDENSEUR	99

4.11	DELESTAGE D'EQUIPEMENTS POUR REDUIRE LA POINTE DE PUISSANCE	100
4.11.1	L'intérêt du délestage	100
4.11.2	Quels équipements délester ?	102
4.11.3	Comment déterminer un réservoir tampon ?	102
4.12	COMMENT AMELIORER LA REGULATION DES DEGIVRAGES ?	103
4.13	QUELLES TUYAUTERIES ISOLER ?	103
4.14	REPLACEMENT DES FLUIDES REFRIGERANTS	104

INTRODUCTION : LE DOUBLE ROLE DU "RESPONSABLE-ENERGIE"

Qui n'a pas vu des fonctionnaires plaçant leur bouteille d'eau minérale devant le jet d'air frais du climatiseur tout en n'étant pas présent dans leur bureau... Et durant la coupure, certains climatiseurs continuent de fonctionner pour maintenir l'ambiance à une température agréable pour ne pas être incommodé par la chaleur au retour.

Tout ces gestes et bien d'autres doivent disparaître avec la présence des « hommes énergie ». Il leur appartient d'informer les occupants des gestes simples pour économiser l'énergie.

Des affiches, des autocollants, des signes clairs doivent rappeler en permanence la vigilance des utilisateurs.

Par ailleurs, la mise au point des installations de climatisation demande qu'une personne relais, présente dans le bâtiment, puisse percevoir si les paramètres de régulation (températures de consigne, horaire de fonctionnement, ...) sont bien au point et en informer le frigoriste spécialisé.

Mais ces actions de l'utilisation rationnelle de l'énergie ne peuvent être menées par une personne seule. Des concertations régulières doivent se tenir entre les DG, les utilisateurs et les responsables énergie.

Il n'y a intérêt pour tous les intervenants de pouvoir économiser l'énergie que si les effets positifs sont au profit des utilisateurs : que ce soit pour de nouveaux investissements dans les techniques économisant l'énergie ou tout simplement pour l'amélioration des conditions de travail dans l'immeuble concerné : nouveau mobilier, matériel de bureau...

Pour cela il est primordial que l'organisation budgétaire change et qu'une autonomie plus large soit consentie au DG. La mise en place d'une équipe accompagnant ces démarches est nécessaire la cheville motrice doit être le Responsable Energie.

- ◇ Un choix de climatiseur tenant compte des spécificités de l'environnement des pays concernés : côtiers ou enclavés. Les sels marins détériorent très rapidement les ailettes en aluminium non traitées des condenseurs pour les pays côtiers, les condenseurs surdimensionnés sont préférables pour les pays enclavés avec des pas d'ailettes de condenseurs si possible supérieur à 2 mm pour éviter au sable de ne pas se fixer dans les batteries,
- ◇ De préférence des moteurs en triphasés plutôt qu'en monophasé pour limiter la puissance absorbée,
- ◇ Des climatiseurs munis de thermostats voir aussi de programmeurs permettant d'interrompre le fonctionnement durant des périodes déterminées à l'avance (attention pour certains pays en zone tropicale humide il faudra veiller à l'apparition éventuelle de condensation dans les locaux lors de l'arrêt de la climatisation : voir inertie du bâtiment etc.).

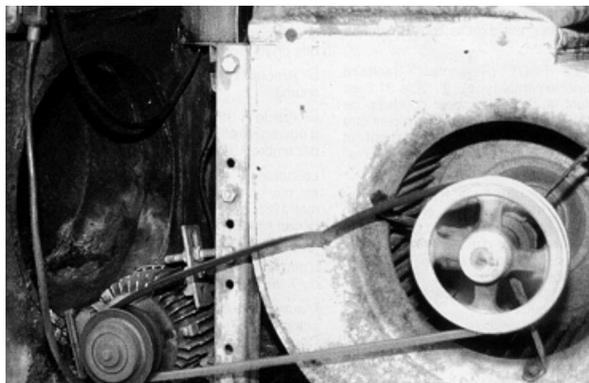


Figure 4.1 Le responsable énergie organise le suivi de l'installation

4.1 L'ENTRETIEN DES ECHANGEURS

4.1.1 Quel impact énergétique d'une absence d'entretien du condenseur ?

L'entretien des équipements va accroître la durée de vie du matériel, diminuer les coûts d'exploitation et par conséquent les frais énergétiques.

Par exemple, prenons les cas d'un condenseur encrassé. L'échange avec l'air extérieur se fera moins bien, obligeant la température de condensation à s'élever. Quelle sera la perte énergétique correspondante ?

Les exemples suivants traduisent en chiffre les effets négatifs de l'augmentation de la t° de condensation.

Un premier exemple reprend les conditions de fonctionnement d'un même compresseur semi-hermétique pour une température de condensation en $A=35^{\circ}$ et en $B=45^{\circ}$

La puissance frigorifique souhaitée est de 100 kW.

En plus de ne pas développer la puissance frigorifique attendue de 100 KW, la consommation énergétique est supérieure de 10 % aux conditions normales de fonctionnement. L'efficacité énergétique diminue de 20%.

En pratique, avec 1 kWh électrique au compresseur, on fait 3,06 kWh de froid dans le premier cas et 2,4 lorsque le condenseur travaille à plus haute température !

De même, pour 1 compresseur de type Scroll pouvant équiper un climatiseur de type Split (modèle ZR40K3-TFD de Copeland), tout en perdant 10% de la puissance frigorifique, la consommation

énergétique augmente de l'ordre de 25 % en passant d'une température de condensation de 35° à 45°.
(Source : logiciel COPELAND PARS)

	SITUATION A	SITUATION B
Fluide frigorigène	R22	R22
Température d'évaporation	-10°	-10°
Température de condensation	35°	45°
Sous-refroidissement	5°	5°
Température gaz aspirés	0°	0°
Puissance frigorifique	101,5 kW	88,04 kW
Consommation électrique	33,2 kW	36,75 kW
Intensité à 400 V	70 A	75 A
COP	3,06	2,4

Tableau 4.1 Dégradation des performances d'un compresseur en fonction de la température des condensations [source: "COPELAND SELECT"]

Pour 8 heures de fonctionnement par jour, 20 jours par mois et 10 mois par an, avec 1 kWh à 100 CFA la surconsommation est de 80.000 CFA/an.

On s'aperçoit immédiatement qu'un condenseur mal positionné (en plein soleil !), des ailettes obstruées (feuilles, poussières...) des ailettes pliées, un ventilateur défectueux, un bac d'écoulement des condensats rempli... sont autant de cas qui nuisent au rendement des échangeurs. Et l'installation verra sa consommation électrique nettement augmenter.

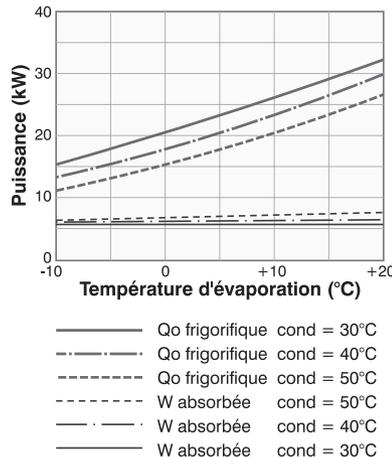


Figure 4.1 La puissance frigorifique diminue avec l'augmentation de la température de condensation

4.1.2 Quel impact énergétique d'une absence d'entretien des évaporateurs?

L'entretien des échangeurs doit aussi reprendre les évaporateurs. Ils sont souvent négligés car ils se trouvent à l'intérieur et on a tendance à croire qu'ils sont propres ou qu'ils ne présentent aucune anomalie.

Ainsi, dans un hôtel du Togo, les filtres des unités intérieures des splits étaient totalement obstruées par des poussières et des peluches provenant de la literie des chambres. Lorsque ces filtres ont été nettoyés, la chambre fût tellement froide que le client a dû arrêter la climatisation !

Que ce soit en climatiseur individuel ou sur une batterie reprise dans une climatisation centralisée, l'encrassement des ailettes est chose très fréquente lorsque le traitement d'air est inexistant, ce qui est très souvent le cas dans les bâtiments d'Afrique subsaharienne. Il arrive très régulièrement que des filtres soient enlevés purement et simplement mais cela ne fait que différer et amplifier le problème puisque ce seront les échangeurs qui s'encrasseront.

En supposant une batterie d'évaporateur avec un pas d'ailettes de 7 mm, d'une puissance frigorifique de 10,7 kW, d'un débit d'air de 11.600 m³/h et d'une T° d'évaporation de -5° en R22, la surface d'échange sera de 72 m².

Ce même évaporateur avec des ailettes encrassées correspondant à un pas d'ailettes de 4 mm, pour un débit d'air et une T° d'évaporation identiques aura besoin d'une production frigorifique de 13,7 KW pour offrir le même confort. La surface d'échange à refroidir est passée à 126 m² à cause de la pellicule d'encrassement qui est venue se figer sur les ailettes.

Dans la réalité cela se traduit par un temps de fonctionnement plus long du compresseur, dans ce cas, d'environ 30 %.

Une autre conséquence, c'est que la batterie risque de givrer.

Pourquoi ?

◆ Du côté de la chambre froide

La poussière sur les tubes à ailettes de l'évaporateur gêne la circulation de l'air soufflé par le ventilateur. Le débit d'air diminue puisque la résistance à l'écoulement de l'air au travers de la batterie s'accroît. L'apport de froid vers le local se fait moins bien. La température du local monte quelque peu.

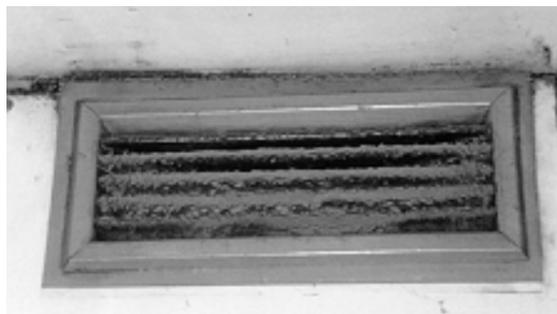


Figure 4.2 Le mauvais entretien de la bouche traduit l'encrassement de l'ensemble

◆ Du côté du circuit frigorifique

Les résultats de ces effets sont :

- ◇ Suite à la résistance thermique qui se crée entre la batterie et l'air (c'est une "couche isolante" entre l'échangeur et le local), le réfrigérant ne s'évapore pas entièrement dans l'évaporateur,
- ◇ La quantité de vapeur produite diminue, mais le compresseur continue d'aspirer puisque la température de consigne n'est pas atteinte. La pression à l'entrée du compresseur (BP) diminue. Si la pression diminue, la température d'évaporation diminue également. A court terme, cela augmente le froid donné à la chambre (l'écart de température "local-évaporateur" augmente), mais cela augmente le travail du compresseur...,
- ◇ Le détendeur va réagir : il constate que la surchauffe des gaz est trop faible, il imagine que c'est parce que la charge frigorifique dans la chambre a diminué et il diminue le débit de fluide. La quantité de vapeur produite diminue encore, la Basse Pression diminue également. Le givrage peut apparaître ce qui diminue encore les capacités d'échange...,
- ◇ Au point que la conduite d'aspiration vers le compresseur peut complètement givrer. Quelques gouttes liquides de réfrigérant peuvent alors se retrouver à l'entrée du compresseur, avec le risque de créer des "coups de liquide" au compresseur.

Globalement, le compresseur de la machine frigorifique travaille avec une mauvaise efficacité énergétique.

4.1.3 Quel impact hygiénique de l'absence d'entretien ?

Le manque d'entretien et de suivi des échangeurs peut aussi avoir pour conséquence des bacs d'écoulement de condensats qui se bouchent. Une augmentation du niveau d'eau, qui dans beaucoup de cas atteint le niveau inférieur de la batterie, amènera des gouttes d'eau dans le circuit de distribution d'air. Lorsqu'il s'agit d'une batterie de climatisation centralisée, en contact direct avec l'air qui circule dans le bâtiment, les gaines se chargent de particules d'eau et l'apparition de microbes devient inévitable (les gaines sont parfois isolées avec de la laine minérale propice à la formation de poches d'eau). L'eau ne se propagera pas jusque dans les locaux du bâtiment mais les ventilateurs pousseront très facilement les microbes à travers les bouches de pulsions.

On a parlé régulièrement de décès suite à la "maladie du légionnaire". Les experts sont unanimes sur le mode de transmission : les gaines de climatisation. La dizaine de personnes qui sont décédées lors de la Coupe du Monde de football en France logeaient toutes dans le même hôtel, ...

A Brazzaville, dans un grand immeuble au centre ville, en entrant dans le hall d'entrée, on était surpris de l'odeur "d'eau de javel" qui était dans l'air. La première pensée était de se dire que le système de ventilation venait d'être nettoyé. Ce n'était malheureusement pas le cas, les femmes de ménage de l'immeuble stockaient leur matériel et produits de nettoyage dans un local qui servait de caisson de mélange d'air entre l'air neuf et l'air repris. Elles trouvaient le local très aéré et adapté à l'entreposage de leur matériel de travail....

4.2 CONTROLER LES PRESSIONS ET LE NIVEAU DE FLUIDE FRIGORIFIQUE

Une chute de pression anormale (en dessous de la pression correspondant à la T° d'évaporation normale de -5°) du côté de la Basse Pression est généralement liée à un manque de fluide frigorigène (pour des installations de climatisation uniquement).

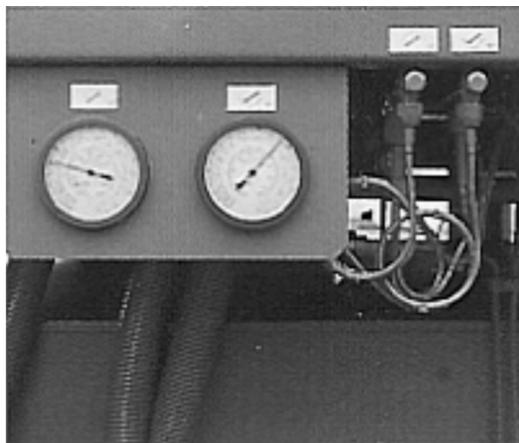


Figure 4.3 Manomètres haute et basse tension

C'est en plaçant le manomètre sur la basse pression que les indications précises peuvent être relevées (les climatiseurs individuels ne sont pas munis de manomètres de lecture, seul les groupes de climatisation centralisés disposent de cadrants de contrôle).

Cette chute de pression provoque un fonctionnement avec de brefs arrêts et de brefs démarrages du compresseur suivant le réglage du pressostat. Lorsque la perte de gaz est totale, c'est un fonctionnement sans arrêt du compresseur qui en résulte. Il faut remarquer qu'une chute de pression équivalente sera constatée du côté HP. Sur le diagramme enthalpique, c'est l'ensemble du cycle frigorifique qui se déplace vers le bas.

Le thermostat de la pièce est, pour sa part, toujours en demande puisque la température demandée n'est pas atteinte. Le compresseur est donc sollicité en permanence. Il est possible d'éviter ces désagréments sur le compresseur en installant un pressostat de sécurité sur la basse pression (ce n'est généralement pas le cas pour les climatiseurs individuels à cause du coût plus élevé que cela entraîne au niveau du prix de vente du split).

Exemple :

Une climatisation de type split muni d'un compresseur Scroll développant 6,79 KW frigorifique à une température d'évaporation de -5° et une température de condensation de 40°, ne développera plus qu'une puissance frigorifique de 4,5 KW à -15° d'évaporation.

La consommation supplémentaire provenant de la chute de pression se traduira par un nombre d'heures de fonctionnement du compresseur supérieur d'environ 30 % correspondant à la perte de puissance frigorifique.

Le pas des ailettes dans le cas de split est tellement faible qu'à une température d'évaporation de -15, la batterie de l'évaporateur sera très certainement prise en glace.

L'utilisateur de la climatisation, s'il est éloigné de l'unité extérieure, ne remarquera pas les arrêts et les mises en marche répétées ou le fonctionnement continu du compresseur (le compresseur se trouvant le plus fréquemment dans les unités extérieures). C'est uniquement lorsque la t° de confort ne sera plus atteinte qu'il détectera le problème.

Le manque de réfrigérant n'est pas toujours dû à une fuite. Il peut arriver que lors de l'installation du split, une distance supérieure à celle préconisée par le fabricant soit nécessaire au niveau des conduites de liaison entre les unités extérieure et intérieure. Les climatiseurs individuels sont préchargés d'usine en réfrigérant pour une distance maximum donnée entre les unités. L'augmentation de cette distance nécessitera un appoint en réfrigérant strictement défini en quantité par mètre dans la documentation de l'appareil (pour les marques connues et disposant d'un réel service après vente). En l'absence de ce complément de réfrigérant, lors d'une distance trop importante entre les unités, du givre et de la glace apparaîtront sur la batterie.

L'excès de réfrigérant aura des effets différents mais tout aussi désagréables pour l'utilisateur : la haute pression augmente anormalement et peut faire déclencher le système s'il est muni d'une sécurité pressostatique Haute Pression. Il provoquera de toute façon une baisse de la capacité frigorifique produite (voir diagramme enthalpique : pour une même température d'évaporation en augmentant la pression de condensation, il en résulte une baisse de la puissance à l'évaporation).

En climatisation centralisée, l'unité de production de froid, en cas de manque de réfrigérant devrait se mettre en sécurité par le pressostat Basse Pression dont la présence est obligatoire pour ce type de centrale. S'il s'avère que le pressostat est réglé à une pression trop basse, par exemple -15° ou -20° et qu'un risque de givre est imminent, un "détecteur" de gel devrait interrompre l'alimentation électrique du compresseur. On observe parfois que ces sécurités anti-gel, ainsi par exemple que les détecteurs de débit d'eau, sont éliminés car souvent "en panne".

En 1997, dans un grand hôtel de Lomé, un évaporateur à eau d'une énorme production d'eau glacée avait dû être remplacé car la glace produite dans l'évaporateur l'avait fissuré. Cette dépense tout à fait inutile avait pour origine l'absence de détecteur de débit d'eau....

Un exemple similaire lors de la même année s'était produit dans un hôtel de Brazzaville.

A Niamey, dans une chaîne hôtelière très connue, en 1998 des signes inquiétants étaient visibles sur le groupe d'eau glacée. Les pompes étaient tombées en panne et, par manque de moyens financiers, elles avaient été remplacées par les pompes prises sur l'installation solaire qui se retrouvait par conséquent hors service. Les débits des pompes solaires étant plus faibles que ceux de la boucle d'eau glacée, il n'était pas surprenant d'observer des débuts de givres sur les échangeurs : les détendeurs n'avaient pas été modifiés malgré une charge frigorifique plus faible.

4.3 LIMITER LES FUITES DE FLUIDES FRIGORIGENES

4.3.1 La qualité de l'installation

Pour limiter au maximum les possibilités de fuite, il faut observer avec attention les points suivants:

- ◇ Une bonne technique de brasage et de soudage,
- ◇ Le brasage de préférence à une connexion avec raccords. Les vibrations transmises par le fonctionnement du compresseur peuvent à terme être la cause d'écrous dévissés, etc. Cela ne veut pas dire que le choix de la soudure résoudra ce problème car le non respect de certaines règles sur les vibrations peut provoquer la cassure ou la fissure d'une tuyauterie. L'utilisation de systèmes pour éliminer les vibrations est conseillée,
- ◇ L'utilisation de préférence de raccords avec filetage conique, plutôt que des joints avec flasques,
- ◇ Un bon dessin des tubulures pour éviter les pertes de charge,
- ◇ Le placement de supports adéquats, surtout sur les longues tubulures (support avec passage en caoutchouc),
- ◇ L'installation de composants interchangeables, tels que filtres déshydrateurs, de telle façon qu'ils puissent être enlevés et remplacés avec un minimum de perte de fluide frigorigène.



Figure 4.4 Déshydrateur

- le test d'étanchéité préalable du tout nouveau système avant d'être tiré au vide et chargé.

La présence de vannes dans le circuit frigorifique permet d'isoler un équipement, de l'enlever éventuellement en cas d'intervention plus conséquente, de contenir le réfrigérant dans le réservoir liquide de l'installation pour ne pas le lâcher à l'air libre et ainsi économiser du réfrigérant lors de la charge à effectuer après la réparation. Les vannes doivent être montées de telle façon qu'elles ne représentent plus de source supplémentaire de fuite.

4.3.2 Les indices de fuites éventuelles

L'expérience a montré qu'il est pratiquement impossible d'éliminer complètement les fuites, particulièrement lorsque les appareils fonctionnent depuis plusieurs années. De ce fait, il est important d'être capable de détecter les fuites, de les situer de manière précise, pour pouvoir les réparer.

Une fuite de fluide frigorigène diminue la charge présente dans le système. Cette charge trop faible peut se manifester par :

- ◇ Des bulles dans le voyant liquide. Attention, l'observation du voyant ne doit pas rester la seule indication quant à l'apparition de fuites. Par exemple ces bulles peuvent être provoquées par une obstruction de la conduite de liquide, par exemple un blocage du filtre déshydrateur,
- ◇ Une température trop basse à l'évaporateur. Dans ce cas également la cause peut être due à une obstruction de la conduite de liquide, ou bien à un mauvais fonctionnement ou blocage partiel du détendeur. Les conséquences peuvent être graves, comme par exemple la congélation d'aliments qui ne doivent pas l'être ou la formation de glace sur l'évaporateur d'un climatiseur,
- ◇ L'arrêt et le redémarrage plus fréquent du compresseur que la normale pour la capacité (généralement 12 fois par heure). Ceci peut aussi être causé par le mauvais réglage des commandes du compresseur,
- ◇ La surchauffe du compresseur relative à un débit insuffisant de réfrigérant. La cause peut aussi être due à une fuite ou à une obstruction quelque part dans le circuit,
- ◇ Le niveau trop bas du fluide dans la bouteille de liquide. C'est l'indication la plus sûre d'une perte de réfrigérant, bien sûr, à condition que la bouteille soit équipée d'un voyant et que le niveau normal soit connu.



Figure 4.5 *Voyant liquide*

Il est souhaitable, même si ce n'est que sur une partie de l'installation que le réparateur a dû intervenir, de tirer au vide le tronçon concerné avant de remettre le réfrigérant et de démarrer l'installation.

4.3.3 La recherche des fuites

Avant de se lancer dans la recherche d'une fuite éventuelle il y a lieu de placer les manomètres pour vérifier l'état des pressions BP et HP. La comparaison avec les températures atteintes dans les pièces climatisées et la température extérieure confirmera les constatations.

L'absence de production de froid peut avoir une autre origine que le manque de réfrigérant.

Un phénomène quasi identique en symptômes extérieurs est l'absence d'étanchéité des clapets du compresseur qui se manifestera par une égalisation des pressions entre la HP et la BP, celle-ci augmentant de valeur pour se rapprocher de la haute pression.

Ajouter du réfrigérant dans ce cas de figure ne fera qu'accroître la HP tout en tirant également la BP vers des pressions plus élevées. Si le manomètre HP n'est pas installé sur le circuit et que seul le mano BP a été raccordé pour permettre le remplissage de réfrigérant, on peut penser que "le manque de réfrigérant est comblé". La réalité est tout autre à cause de l'impact sur la HP.

Les contrôles visuels réguliers permettent de détecter toute trace d'huile qui témoigne d'une fuite. La régularité dans les contrôles reste importante car on oublie souvent que l'installation frigorifique est soumise à des sollicitations mécaniques au niveau du compresseur ainsi qu'à la rotation des ventilateurs. La présence de dispositifs antivibratoires diminue mais n'exclut pas les contraintes mécaniques.

Il existe depuis quelques années des sondes de détections de réfrigérant que l'on utilise dans le cas de grosses installations et qui renvoie toute anomalie vers un système d'alarme sonore ou téléphonique.



Figure 4.6 Bombe aérosol



Figure 4.7 Détecteur électronique

Autrefois, bien des problèmes étaient résolus par un complément de réfrigérant sans trop se soucier de l'origine et de la localisation de la fuite. Le frigoriste passait régulièrement ajouter du réfrigérant et présentait sa facture.

Aujourd'hui, avec les conventions internationales sur l'environnement et surtout le prix des réfrigérants, il est absolument nécessaire de localiser et de réparer toute fuite.

Malheureusement il existe encore parfois des ajouts de réfrigérant en connaissance de cause tout particulièrement dans le secteur industriel. L'origine de la fuite est connu mais la réparation et l'arrêt de la production seraient tellement onéreux par rapport au prix, même actuel du réfrigérant, qu'aucune initiative n'est envisagée. Pourtant les quantités injectées sont impressionnantes...

4.4 CONTROLER LE NIVEAU D'HUILE

Toute installation de climatisation comporte un compresseur. Ce sont les parties mobiles de ce "cœur" de l'installation qui nécessitent une lubrification.

Le pouvoir lubrifiant d'une huile joue un rôle important dans la réduction des pertes d'énergie mécanique des machines. En plus de protéger les organes frottants contre les corrosions, l'huile évacue la chaleur et accroît l'étanchéité. En descendant, le piston laisse une couche de lubrifiant sur les parois internes. Une partie de cette couche sort avec le gaz comprimé vers le circuit. Peu à peu, l'huile migre dans le système. Elle retournera dans le compresseur si la conception de l'installation est bonne.

Lorsque le choix de l'huile est approprié aux machines utilisées ainsi qu'au réfrigérant, que les dimensions des tuyauteries correspondent aux performances et aux puissances demandées par l'installation, on est certain que la quantité d'huile envoyée dans le circuit par le compresseur est identique à la quantité qui revient vers le compresseur.

A défaut, une sous-lubrification peut provoquer un grippage des parties mobiles du compresseur pouvant aller jusqu'au blocage. Pour remédier au mauvais retour d'huile, on intègre dans le circuit, en plus des quatre éléments (compresseur - condenseur - détendeur – évaporateur), un séparateur d'huile que l'on installe après le compresseur et/ou un séparateur de liquide après le condenseur.

Le placement dans le circuit de "facilitateurs" pour permettre à l'huile de revenir au compresseur est tout à fait conseillé dans le cas où l'installation fonctionne avec plusieurs compresseurs. La vitesse de circulation du réfrigérant et de l'huile peut varier lorsqu'un compresseur est arrêté ou fonctionne à charge moindre. Cette faible vitesse ne permet pas le bon retour de l'huile. On devrait dans l'absolu faire varier le diamètre des tuyauteries en fonction de l'arrêt ou du fonctionnement d'un compresseur par rapport à l'autre.

Le monde de la réfrigération s'est généralement tourné vers le HFC-134a pour remplacer le CFC-12. De nombreux équipements utilisant ce fluide frigorigène (qui n'est pas nuisible à la couche d'ozone) sont déjà lancés sur le marché.

Mais les problèmes majeurs du 134a sont l'hygroscopicité (la tendance à absorber l'eau ambiante) et la non miscibilité avec les lubrifiants :

- ◇ L'hygroscopicité fait que pour réduire autant que possible l'entrée d'eau dans le système, une attention accrue devra être portée lors du transvasement, ainsi que sur la propreté des équipements et des emballages, et sur le soin dans l'évacuation de l'air contenu dans les installations, afin d'éviter au maximum la présence d'humidité,
- ◇ Le problème le plus grave est l'absence de miscibilité avec les lubrifiants minéraux utilisés pendant des décennies. Il a été nécessaire de développer des lubrifiants de synthèses. Ce manque de miscibilité du 134a avec les lubrifiants minéraux rend très compliquée son utilisation pour la reconversion des équipements fonctionnant déjà avec le CFC. Même sur les équipements neufs, il faut tenir compte des résidus des huiles de refroidissement sur

les rugosités microscopiques du métal. Ils peuvent entraîner des problèmes par la formation d'une pellicule de lubrifiant sur le métal.

Ces lubrifiants de synthèse de type POLYOLESTER sont considérés comme étant de la "seconde génération".

Leur l'hygroscopicité les rend plus vulnérables et rend également l'installation frigorifique ou d'air conditionné plus vulnérable. Il est nécessaire d'améliorer les méthodes de travail en augmentant le temps passé à évacuer l'air des installations, afin d'éliminer toute l'eau possible, dans laquelle est incluse celle absorbée des parois froides des tuyauteries du circuit et celle qui se trouve dans l'air dissous dans le lubrifiant.

Les niveaux de toxicité et de pollution des huiles synthétiques sont du même ordre que ceux correspondant aux huiles minérales, ce qui fait que leur manipulation et les précautions à prendre ne sont pas très différentes des précautions habituelles : se laver les mains après l'utilisation, NE JAMAIS JETER A L'EGOUT, éviter l'ingestion,....

Il existe une précaution supplémentaire, mais qui concerne le bon état du lubrifiant: ne pas l'exposer à l'air sauf le minimum indispensable. Il est nécessaire de se souvenir qu'il absorbe l'eau de l'atmosphère et qu'ensuite il ira dans l'installation fermée où le fluide frigorigène absorbe également l'humidité. Par conséquent, on impose des pratiques de nettoyage et de propreté dans le travail du frigoriste.

Remarque :

L'indicateur d'humidité placé entre le filtre déshydrateur et le détendeur, contient une substance chimique hygrosopique dont la couleur change en fonction de la teneur en eau du fluide frigorigène.

Lorsque le fluide frigorigène liquide a été convenablement déshydraté par le filtre déshydrateur, l'indicateur présente une couleur verte. Le passage à une teinte de plus en plus claire, virant au jaune, indique une saturation importante en eau dans le système.

Que faut-il faire si le voyant est jaune ? Le voyant jaune ne peut être laissé dans cette situation. La production de froid ne sera pas optimum et on risque même d'endommager le compresseur. Il y a lieu de ramener le réfrigérant dans le réservoir liquide, de l'isoler, de tirer au vide et idéalement de changer de déshydrateur. Dès que la certitude de la tenue au vide est acquise (éventuellement en cassant le vide avec de l'azote ou du R22 pas chère), la charge de réfrigérant peut à nouveau être faite.

4.5 TESTER L'ACIDITE DE L'HUILE

4.5.1 Pourquoi un test d'acidité ?

Le test d'acidité révèle le niveau d'acidité de l'huile frigorifique. Si cette acidité n'est qu'un des éléments parmi les nombreux facteurs de risques de casse d'un compresseur, la facilité d'utilisation des tests d'acidité en fait un outil répandu, essentiellement pour les petites installations.

Les vendeurs de réfrigérants sont tous équipés d'un laboratoire permettant de diagnostiquer le contenu d'une huile de réfrigération. Il est donc possible d'entrer en contact avec des spécialistes qui vous conseilleront sur les mesures à prendre suivant ce qui est détecté dans l'huile. Lorsque l'on déconnecte le manifold des prises manométriques d'un compresseur, il arrive très régulièrement que des résidus d'huile accompagnent cette opération. L'odeur qui est dégagée permet déjà de se faire une idée de la qualité de l'huile contenue dans le circuit. Lorsque vous êtes appelé à intervenir sur une installation dont le compresseur semble être défectueux et que vous constatez qu'il ne s'agit déjà plus du compresseur d'origine, il importe que vous trouviez la raison pour laquelle le compresseur doit régulièrement être changé avant de vous lancer dans un x ième remplacement. Bien souvent, l'huile est une des raisons de ce soucis.



Figure 4.8 Le contrôle de l'acidité garantit le bon fonctionnement des machines frigorifiques

4.5.2 Que peut-on analyser ?

◆ **La viscosité (à plus de 40°)**

Elle est indispensable pour assurer une lubrification correcte. On détermine si sa valeur est dans une fourchette acceptable en fonction de la référence de l'huile et du type du moto-compresseur.

◆ **L'acidité de l'huile**

Elle peut conduire à la destruction des vernis des enroulements électriques.

◆ **La teneur en eau**

En effet, la présence d'humidité dans l'huile risque de provoquer des dépôts de glace aux détendeurs ou dans les capillaires. De plus, en présence d'eau, on constate une réaction électrolytique qui conduit à une détérioration des parois des cylindres, des pistons et clapets des

compresseurs. La présence d'humidité dans l'huile favorise également la formation d'une mousse abondante dans le carter.

4.6 CONTROLE DES HORLOGES DE DEGIVRAGES

Les évaporateurs à ailettes c'est-à-dire :

- ◇ Les batteries en détente directe dans les caissons de traitement d'air,
- ◇ Les batteries des splits destinés au refroidissement des locaux dont la température d'évaporation est inférieure à 0°,
- ◇ Les batteries à eau glacée traversée par de l'eau ou du glycol dont la température est inférieure à 0°, nécessitent des périodes de dégivrage.

Ces moments d'arrêt de production de froid peuvent être de plusieurs formes:

Une horloge de dégivrage peut être incluse dans l'appareil de climatisation et permettre des dégivrages à heures fixes et principalement en dehors des heures d'utilisation de la climatisation : fin de journée, temps de midi, autre pause... En tout les cas, il est conseillé d'associer à l'horloge de dégivrage une sonde de fin de dégivrage permettant à la climatisation de démarrer sans attendre la période complète programmée sur l'horloge surtout dans le cas où le dégivrage se fait par une résistance électrique.

- ◇ Arrêt de la fourniture de froid avec dégivrage naturel de la batterie,
- ◇ Arrêt de la production de froid avec dégivrage par une résistance chauffante et arrêt de la ventilation.

4.7 CONTROLE DE L'INTENSITE ELECTRIQUE AU COMPRESSEUR

Le contrôle de l'intensité est un indicateur de bon fonctionnement du compresseur. Il est comparable au compte-tour d'une voiture : au plus vous appuyer sur l'accélérateur, au plus vos tours/minute augmentent avec un maximum limité à la zone rouge sur le cadran vous informant qu'au delà de cette zone votre moteur n'est plus en fonctionnement acceptable.

Ce sont les constructeurs qui déterminent les conditions de fonctionnement en tenant compte de la cylindrée de votre véhicule mais aussi de multiples autres facteurs : essence ou diesel, injection directe ou pas...

Pour un compresseur utilisé en réfrigération, les constructeurs établissent une fiche signalétique qui renseigne la capacité frigorifique, la tension à utiliser, l'ampérage rotor bloqué, l'intensité nominale...

A l'aide d'un ampèremètre à appliquer autour de chaque fil conducteur alimentant le compresseur, on relève le nombre d'ampères consommés par le compresseur en état de marche mais aussi en cas de dysfonctionnement.

Cas vécu :

Le disjoncteur d'une chambre froide déclenche régulièrement après quelques minutes de fonctionnement. Le groupe frigorifique se trouve sur le toit de l'immeuble quatre étages plus haut dont l'accès était très difficile et de plus il pleut très fort le jour du dépannage.

En plaçant leur ampèremètre, dans le coffret électrique, sur l'alimentation du compresseur, le technicien constate une lecture d'ampères anormalement élevée pour ce type de compresseur sur les trois fils (triphase).

Le problème se situe manifestement au niveau du groupe extérieur en toiture. En montant sur la toiture, il voit un sac en plastique qui avait été aspiré par le ventilateur du condenseur et qui obstruait les ailettes du condenseur. Le passage d'air était impossible. Le groupe frigorifique déclenchait en haute pression par le pressostat placé à cet effet.

Suivant que l'endroit où les ampères sont lus, différentes conclusions peuvent être tirées :

◆ **En-dessous des indications reprises sur la plaque signalétique**

Comme dans le cas d'une voiture, si vous appuyez sur l'accélérateur et que le compte-tour ne monte pas, vous vous trouvez avec une alimentation insuffisante de carburant.

Dans le cas du compresseur c'est pareil, trop peu d'ampères signifient que la puissance frigorifique n'est pas fournie complètement suite à un manque de réfrigérant. Il arrive parfois de contrôler la charge de réfrigérant et de faire un appoint sans placer les manomètres de contrôle, uniquement en s'aidant de mon ampèremètre. Il est évident qu'un réglage plus précis est nécessaire d'autant que si une charge de réfrigérant est nécessaire, c'est qu'une fuite existe dans le circuit.

◆ **Au-dessus des indications reprises sur la plaque signalétique**

Souvent, sur la plaque signalétique du compresseur, on peut lire l'ampérage rotor bloqué du compresseur.

Si pour une raison quelconque, le moteur électrique ne tourne pas malgré la mise sous tension, il est évident que l'ampérage qui sera lu sur l'ampèremètre sera largement supérieur à la normale. Cela signifiera à coup sûr que le bobinage du compresseur est endommagé.

Il se peut aussi que les ampères lus soient légèrement supérieurs aux indications du constructeur dans ce cas la charge de réfrigérant est sans doute trop importante ou un évaporateur est pris en glace et n'arrive plus à enlever les calories du local ambiant où il se trouve. Dans ce cas, des indications supplémentaires doivent apparaître : par exemple la conduite d'aspiration givrée, la pression à l'aspiration anormalement basse....

◆ **Egales aux indications reprises sur la plaque signalétique**

Si les ampères lus à l'ampèremètre sont identiques à la plaque signalétique c'est que normalement tout va bien...

4.8 PLACEMENT D'UN COMPTEUR HORAIRE SUR LE COMPRESSEUR

En climatisation, un compteur horaire permet un suivi de la régulation, tout ou rien, comme c'est le plus fréquent en Afrique. Pour des raisons de confort ou tout simplement par oubli, on rencontre régulièrement des climatiseurs qui fonctionnent la nuit, voire même durant le week-end en l'absence de personnel dans les bureaux.

La présence d'un compteur horaire, pour une journée type de 24 heures (de 8 heures du matin jusqu'au lendemain 8 h, par exemple), permettra de visualiser le nombre d'heures que le climatiseur a fonctionné ou d'attirer l'attention sur des problèmes plus importants.

Lors du relevé des indications d'heures, si on constate un nombre d'heures de fonctionnement supérieur au nombre d'heures d'utilisation du local, il est évident qu'il y a un abus dans l'utilisation de la climatisation et, preuve à l'appui, il est possible d'ouvrir le débat avec les utilisateurs.

Pour remédier à de pareilles situations, on peut envisager le placement d'une horloge sur l'alimentation électrique du climatiseur afin de limiter son fonctionnement à un nombre d'heures précises par jour, en tenant compte du confort des utilisateurs.

Si cela paraît simple dans le cas de climatiseurs individuels, c'est certainement moins aisé pour une climatisation centralisée. Dans ce cas, la solution n'est certainement pas de multiplier les compteurs horaires sur chaque console intérieure, sur les compresseurs ou sur les condenseurs. Une approche plus scientifique de la régulation devra être menée pour bien comprendre les câblages adoptés pour la gestion de l'installation : comment sont commandés les unités intérieures, quels sont les températures de consignes, comment sont commandés le ou les compresseurs, les pompes d'eau glacée...

Sur certaines unités centralisées, des compteurs horaires sont fournis de base. Leur lecture permet de voir la fréquence d'utilisations des pompes, des compresseurs, ou d'autres équipements... Ces indications peuvent aider à l'élaboration d'un planning d'entretien, de remplacements de pièces, voire même de mieux comprendre le fonctionnement de l'installation : un nombre d'heures identiques entre les pompes et les compresseurs signifie que les pompes sont asservies au fonctionnement des compresseurs, est-ce judicieux ? Ne pourrait-on envisager des temporisations ? Sur quels composants, comment ?



Figure 4.9 Compteur d'énergie intégré au coffret électrique

4.9 MODIFICATION DE LA REGULATION DU CIRCUIT FRIGORIFIQUE

Nous parlons dans ce chapitre de modifications à apporter sur des installations existantes :

- ◇ Climatiseurs individuels,
- ◇ Climatisation centralisée.

Des préalables techniques sont toutefois indispensables avant d'entreprendre un travail sur la régulation :

- ◇ Le climatiseur est-il adapté au local climatisé au niveau puissance ? (bilan frigorifique...),
- ◇ L'emplacement de l'unité intérieure est-il optimal ? (soufflage facile de l'air...),
- ◇ Idem pour l'emplacement de l'unité extérieure ? (protection solaire, état du condenseur...),
- ◇ Dans le cas de climatisation centralisée, l'état général de l'installation est-il correct ? (étanchéité du circuit frigorifique, état de filtres, niveau d'huile, présence de sécurité basse et haute pression, valeur de réglage des pressostats basse et haute pression...).

Travailler sur la régulation signifie que l'installation réponde parfaitement aux commandes passées par l'utilisateur ou le technicien lors des réglages. Une installation en parfait état est nécessaire.

4.9.1 Comment modifier ?

L'impact d'un réglage en climatisation ou en réfrigération, est en général assez lent. Interviennent des facteurs tel que l'inertie, les conditions atmosphériques, les endroits choisis pour l'implantation des unités extérieures, les modes d'utilisation des bureaux ainsi que la conception des installations :

- ◇ Climatiseurs individuels ou multisplit,
- ◇ Climatisation centralisée à eau glacée avec ou sans réservoir tampon,
- ◇ etc.

Par expérience, des enregistrements par sondes électroniques ou par enregistreur à papier, des mesures de courant avec une pince ampérométrique, le placement de compteurs horaires... sont vraiment utiles avant toute intervention. Les analyses tirées de ces données permettront d'optimiser le réglage. En établissant un calendrier de mesures dans chaque immeuble et en reportant les données sur papier durant un mois complet (par exemple), "l'homme énergie" pourra prendre un certains nombre d'initiatives le mois suivant.

Lorsqu'une option est prise, il importe également de la vérifier par de nouveaux enregistrements pour confirmer son choix. Ce travail de mesure et d'observation des graphiques peut être complété par un

questionnaire distribué aux utilisateurs, informant des heures d'utilisation, du nombre d'occupants dans le bureau, de l'utilisation ou pas de stores, de l'ouverture ou pas de fenêtres...

Partager au maximum les informations entre collègues est le meilleur facteur de réussite.

Agir sur la régulation suppose, comme déjà dit, que l'installation soit en parfait état de fonctionnement autant sur le plan frigorifique qu'électrique. Il n'est évidemment pas exclu que des travaux d'ombrage des unités extérieures de climatisation, de déplacement des unités extérieures vers des endroits propices à des courant d'air réguliers, de protections solaires sur les façades exposées, de peinture claire sur les plates formes, de double toit... soient réalisés dans la mesure des moyens financiers disponibles. Il est parfois plus raisonnable d'envisager ce type de travaux avant de se lancer vers autre chose et en particulier dans la régulation.

4.9.2 Quelles interventions ?

Sans doute est-ce la moindre de chose mais il est très courant que des climatiseurs, surtout des modèles « windows » ou « fenêtre » fonctionnent sans arrêt en la présence de l'occupant, sans autre contrôle que le bouton "marche-arrêt".

Ne vous êtes-vous jamais rendu dans un bureau ou dans une chambre d'hôtel munie de ce type de clim ? N'avez-vous pas remarqué durant toute votre présence que l'appareil ne s'est jamais arrêté ou du moins que le bruit n'a jamais changé ? Ces appareils ont été négligés quant à leur maintenance et à l'éventuel remplacement de pièces de rechange... Ils fonctionnent sans thermostat, par habitude...

◆ Adaptation des températures de consignes

La température de confort pour les utilisateurs de bureaux climatisés se situe dans un écart de 6° à 8° par rapport à la température extérieure. Le résultat des enregistrements de température permettra d'adapter le réglage des consignes suivant ces indications.
Ces courbes sont tout à fait réalisables à l'aide d'enregistreur à papier.

◆ Adaptation des heures de fonctionnement

Le nombre d'heures de fonctionnement peut varier d'un bureau à l'autre et surtout d'un pays à l'autre. Certains pays travaillent à horaire continu, et d'autres à horaire coupé. Le type de bâtiment : inertie lourde ou légère, son orientation, la présence ou pas de protection solaire... sont autant de facteurs dont il faudra tenir compte avant d'agir sur la régulation.

◆ Fonctionnement éventuel en free cooling de nuit

Sous réserve des conditions climatiques du pays concerné et du bâtiment (valable dans les pays chauds et secs)

◆ Révision des températures d'évaporation

Pour diminuer la différence de pression entre la HP et la BP tout en veillant à ne pas accroître le nombre d'heures de fonctionnement du compresseur. Il y a lieu de vérifier les capacités frigorifiques du climatiseur par rapport aux besoins frigorifiques du local et de comparer ces données aux puissances annoncées du climatiseur pour les températures d'évaporation et de condensations présentées par le fabricant).

◆ **Mise en série de condenseurs**

Via la récupération de condenseur sur des climatiseurs défectueux (l'augmentation de la surface de condensation diminuera la différence entre le BP et HP). Evidemment les pertes de charges sont accrues mais le gain en nombre d'heure de fonctionnement du compresseur est plus profitable en terme de consommation. Les fabricants de condenseurs/évaporateurs limitent de plus en plus souvent le nombre de rangs de tubes de cuivre dans les batteries en utilisant des tubes spiralés à l'intérieur. Ce choix est manifestement commercial afin de limiter la matière par machine mais va à l'encontre des utilisations dans les pays africains car la surface d'échange diminue aussi.

◆ **Placement de thermostat dans les locaux climatisés**

4.9.3. Placer une vanne de réinjection de gaz chauds ?

Un climatiseur n'est pas toujours adapté à la puissance du local : trop petit = fonctionnement permanent et usure prématurée, trop grand = démarrage et arrêt trop fréquent pouvant nuire au compresseur normalement limité entre 6 et 10 démarrages par heures.

Une des possibilités de limiter la puissance du climatiseur est d'insérer une vanne de réinjection de gaz chaud qui adaptera la pression d'évaporation en fonction de la charge demandée. Cet artifice de frigoriste le sort d'embarras lors d'un surdimensionnement de compresseur par rapport à l'évaporateur. Un autre avantage qui en découle est le contrôle automatique de la prise en glace de la batterie de l'évaporateur (si les filtres ne sont pas nettoyés régulièrement, le débit d'air à travers la batterie diminue et la batterie devient surpuissante d'où, sans vanne de réinjection, apparition de givre). La vanne est contrôlée par un capillaire qui mesure la pression sur l'aspiration de l'installation et adapte ainsi l'injection (voir schéma ci-après).

Mais un tel artifice est une aberration au niveau énergétique ! En effet, si le besoin de froid diminue, et que le compresseur pourrait "être mis au chômage", on réinjecte de la chaleur pour donner du travail au compresseur !!!

En comparaison, on pourrait imaginer une pompe qui vide un réservoir "bas" vers un réservoir "haut". De peur du risque qu'elle se désamorçe si elle n'a plus assez d'eau à pomper, on lui réinjecte de l'eau venant du réservoir "haut". Ainsi elle peut continuer à fonctionner sans problème !

Il faut qualifier cette technique de "pur anéantissement d'énergie". En effet, la puissance absorbée reste la même lorsque la puissance de réfrigération diminue. De plus, elle provoque un échauffement du

moteur. Elle se rencontre assez souvent car elle met en oeuvre un matériel peu coûteux. Dans la mesure du possible, il faut mettre ce système hors service dans les installations existantes.

4.9.4 Modification de la régulation de puissance des compresseurs

La régulation par l'étagement des cylindres.

Une réduction de puissance mécanique existe pour des compresseurs à 3, 4, 6 ou 8 cylindres. Si le compresseur fonctionne en réduction de puissance, sa plage d'application change. Suivant le nombre de cylindres régulés, la capacité peut varier en : 33 % - 66 % et 100 % ou 25 % - 50 % 75 % et 100 %.

Cette régulation s'accompagne de pressostats étagés qui commandent chaque étage de puissance du compresseur pour l'enclenchement comme pour le déclenchement. Le dispositif de réduction de puissance externe permet à une partie du débit du cylindre (par exemple 33 %) d'être ramené vers la chambre d'aspiration par un by-pass muni d'une vanne magnétique commandée par un pressostat.

(voir figure reprenant les régulations de puissance externe et interne : culasses différentes + représentation de deux diagrammes enthalpiques avec et sans régulation de capacité).

La régulation par variation de vitesse.

Des pas timides mais prometteurs s'affichent avec l'utilisation de variateurs de vitesse pour moteurs à courant alternatif, par la variation de la fréquence d'alimentation. Elle peut également être utilisée au démarrage du compresseur pour limiter la surintensité. Certains fabricants garantissent la variation de fréquence de 30 Hz à 60 Hz. L'adaptation de la vitesse se fait par des capteurs de pression électroniques qui transmettent l'information via un automate dans lequel sont programmés, entre autres, les sécurités anti-court cycle (qui correspondent aux temporisations dans les câblages traditionnels sans automates), les basses et les hautes pressions, les valeurs des thermostats, les pressions d'huile, la sécurité de niveau de réfrigérant, etc....

En petite climatisation, ces dernières années, les fabricants proposent des modèles « INVERTER » en Courant Alternatif (sur la fréquence) ou a Courant Continu (via un transformateur). L'objectif étant le même que pour la régulation de capacité : adapter la puissance frigorifique à la charge demandée. Ces opérations sont toutes contrôlées par des plaquettes à circuit imprimé. Le frigoriste n'a alors quasi plus de fonction dans le réglage de ces appareils où même les charges de réfrigérant sont déjà faites...

Malheureusement, ces nouveautés augmentent considérablement le prix de vente des appareils et les climatiseurs de qualité sont peu accessibles aux pays du Sud.

4.10 RECUPERATION DE CHALEUR AU CONDENSEUR

Exemple :

Dans un grand hôtel de Niamey surplombant le fleuve, les groupes d'eau glacée sont munis de récupérateur de chaleur sous forme d'échangeur à eau incorporés dans des réservoirs de 10.000 litres pour la production d'eau chaude.

Ces réservoirs sont installés au dernier étage de l'hôtel et sont complétés par une production de chaleur par énergie solaire. Mais voilà que les pompes véhiculant l'eau glacée tombent en panne. Les pompes des panneaux solaires sont démontées pour remplacer celles défectueuses. Conclusion : l'appoint solaire indispensable n'existe plus pour la production d'eau chaude...

Pour éviter tout désagrément à la clientèle, les groupes d'eau glacée, qui sont devenus entre temps les principaux producteurs d'eau chaude, tournent sans arrêt, jour et nuit : pour utiliser l'eau glacée et permettre aux groupes d'être constamment en demande de froid, la régulation de certaines zones est pontée. C'est ainsi que le restaurant, le hall d'entrée qui s'étend sur quasi toute la surface du l'hôtel et certains autres locaux collectifs sont climatisés non stop, portes ouvertes vers l'extérieur en permanence.



Figure 4.10 Réservoir d'eau chaude sanitaire avec échangeur de récupération

Que dire.... ?

Si la conception de l'installation était parfaite dans son principe technique et noble car tenant compte des réalités du pays, par manque de suivi et de moyens financiers l'installation est devenue un cauchemar pour le responsable technique.

Il est possible de récupérer de la chaleur sur le circuit de condensation du réfrigérant tout en restant très prudent sur la taille du condenseur conventionnel à maintenir. Malgré la présence d'un système de récupération de chaleur, il ne faut certainement pas sélectionner un condenseur conventionnel de plus faible capacité : que deviendrait la pression de condensation si les calories récupérées n'étaient pas évacuées...?

Le COP de la machine frigorifique serait dégradé sous prétexte de récupérer de l'énergie au condenseur...

Autre exemple :

A Agadir, au Maroc, un frigoriste est chargé de la maintenance de complexes frigorifiques dans lesquels est stocké du poisson. Principalement des chambres froides de congélation. Toutes ces chambres froides sont montées sur des vides ventilés dans lesquels des turbines véhiculent de l'air à température ambiante pour éviter toute apparition de givre sur les sols des chambres froides. Après le passage dans le vide ventilé, l'air est tout simplement rejeté par des grilles vers l'extérieur. Ce frigoriste pense depuis longtemps pouvoir dévier cet air frais vers les condenseurs à air situés sur la toiture mais n'arrivent pas à obtenir les fonds nécessaires de sa direction pour acheter les gaines nécessaires.

Cet exemple dépasse le cadre de la climatisation, mais dans le cas d'un immeuble muni d'un réseau de prise d'air frais et d'air recyclé, il existe également soit la possibilité de refroidir l'air neuf via un échangeur avec l'air frais vicié rejeté vers l'extérieur, soit la possibilité de profiter de l'air vicié pour refroidir le condenseur.

Sur le diagramme P/H, on peut estimer l'enthalpie économisée en baissant la température de condensation. Plus encore, si un système de récupération existe pour la production d'eau chaude, via des compteurs horaires, on peut évaluer les kWh économisés sur les ventilateurs des condenseurs conventionnels qui seront moins utilisés, idem sur les heures du compresseur qui sera moins sollicité, etc. Le tout étant de pouvoir pratiquer des comparaisons objectives : l'avantage de l'Afrique par rapport à l'Europe est que les conditions de base extérieures sont quasi identiques pour au moins 8 mois de l'année.

4.11 DELESTAGE D'EQUIPEMENTS POUR REDUIRE LA POINTE DE PUISSANCE

Dans tous les pays d'Afrique de l'Ouest, les sociétés d'électricité établissent leurs tarifs suivant un même schéma :

- ◇ Une prime fixe calculée sur la puissance souscrite,
- ◇ La consommation réelle en heures pleines et en heures creuses,
- ◇ Les pénalités si le $\cos \varphi$ ne se situe pas dans la fourchette imposée,
- ◇ Les pénalités de la pointe de puissance quart horaire (uniquement en industriel et en gros tertiaire).

4.11.1 L'intérêt du délestage

L'intérêt du délestage n'intervient qu'au niveau de la pointe quart horaire.

En résumé, il importe de ne jamais dépasser le niveau maximum de la puissance souscrite. La société d'électricité prévoit la réserve de puissance sur son réseau en tenant compte des puissances souscrites par l'ensemble des clients. Si tous les clients devaient régulièrement dépasser la puissance

qu'ils ont souscrite, la société d'électricité devrait dès lors revoir sa méthode de distribution ainsi que sa production.

Le plus simple, penseront certains, serait de demander la puissance maximum à souscrire et d'éviter dès lors les pénalités de la pointe quart horaire. Ce n'est pas malheureusement aussi facile. C'est un compromis financier à trouver entre les frais fixes générés par la puissance souscrite et les pénalités de dépassement de la pointe quart horaire tout en tenant compte de la consommation réelle, heures pleines et heures creuses et tout cela mensuellement.

Le délestage est une idée qui fait son chemin mais une approche très pointue devient nécessaire pour éviter « des revers » tout aussi onéreux à l'usage.

Ex : il sera intéressant par exemple d'éviter que deux groupes d'eau glacée fonctionnent en même temps pour diminuer la puissance à souscrire mais cela devient une fausse économie si le temps de fonctionnement pour mettre à température les locaux est équivalent, en argent, au surcoût d'une puissance souscrite plus importante.

Avant d'entreprendre des câblages permettant le délestage d'un ou de plusieurs équipements, il importe de vérifier que l'installation est parfaitement en règle sur le plan du montage frigorifique et que l'ensemble des sécurités sont actives.

Un autre élément très important est le respect des raccordements des circuits R – L – C (résistance – induction – capacité). Un climatiseur split ne pourra être raccordé sur un réseau de tubes TL.

Le délestage s'inscrit dans le contexte global de l'immeuble à gérer. Une connaissance des appareils consommateurs d'électricité et leur localisation dans l'immeuble, leurs heures d'utilisation, leur puissance absorbée, leur inertie... sont autant de facteurs à prendre en considération dans le choix du délestage. Savoir aussi qui sont les utilisateurs, qui est le responsable de la maintenance...

Exemple :

On peut imaginer asservir la calandre de repassage d'une buanderie dans un grand hôtel avec un groupe frigorifique par exemple lié aux communs : hall, couloirs...

Si l'inertie du système de repassage qui utilise de la vapeur n'est pas suffisant pour permettre au groupe d'eau glacée de mettre les locaux à température, on peut imaginer de placer un réservoir de vapeur faisant fonction de réservoir tampon le temps du fonctionnement du groupe d'eau glacée. Ce ne sont toutefois pas des décisions à prendre à la légère : il se peut que la vapeur soit produite par une chaudière à mazout et non par l'électricité. Dans ce cas il faudra chercher une autre piste...

Avant d'entreprendre tout raccordement il faudra évaluer les consommations liées à chacun des équipements : consommations réelles (compteur horaire) et pointe quart horaire. Un accord avec la société d'électricité locale peut permettre le prêt du matériel ad hoc pour relever les pointes quart horaire.

Lorsque le délestage à pratiquer aura été ciblé, que sa mise en œuvre aura été exécutée, il importera de vérifier si la valeur de la puissance souscrite est toujours adaptée aux besoins. En effet, si en délestant pour éviter les pénalités de la pointe quart horaire, on utilise aussi cette pratique pour ne plus

faire fonctionner deux gros consommateurs d'énergie en même temps, il est envisageable de diminuer la puissance souscrite et donc de bénéficier d'un tarif plus avantageux.

4.11.2 Quels équipements délester ?

Toutes les possibilités existent... L'étude de la facturation électrique existante afin de relever les différents coûts à diminuer ainsi que l'étude préalable des équipements susceptibles d'être délesté doit déterminer la rentabilité.

Généralement, l'équipement à délester durant une période définie, doit disposer de suffisamment d'inertie pour maintenir les conditions auxquels il est affecté dans une fourchette acceptable pour les utilisateurs : on ne pourra pénaliser la calandre de la buanderie d'un hôtel uniquement à la faveur du fonctionnement d'un groupe d'eau glacée. Ces deux applications doivent être remplies. Elles ont chacune leur utilité pour le bon fonctionnement de l'hôtel.

Dans le cas de bureaux et de bâtiments publics tel que musées, salles de conférences, salles de cours dans les universités, ... les possibilités de délestage sont plus rares, des machines sont moins fréquentes. Dans ce cas, il est utile d'étudier, par exemple, la mise en place d'un réservoir tampon si la climatisation est assurée par un groupe d'eau glacée. Le rôle du réservoir tampon est de se charger en froid durant les heures creuses, principalement la nuit, et le fruit de cette accumulation est alors utilisé durant les heures d'utilisation des bureaux.

4.11.3 Comment déterminer un réservoir tampon ?

Il n'y a pas de formule magique, c'est une approche au cas par cas en tenant compte de la puissance totale du groupe, du débit des pompes d'eau glacée, du nombre de ventilo-convecteurs utilisés, du nombre d'heure d'utilisation de chacun d'entre eux sur une journée, de la configuration du circuit : est-il possible de placer des pompes supplémentaires et/ou des vannes magnétiques motorisées pour créer de nouveaux réseaux hydrauliques ? Si cette possibilité de découpage des réseaux existe, le réservoir tampon peut s'imaginer pour quelques circuits et être moins volumineux que pour l'ensemble de l'installation... et en tout les cas, il faut envisager la faisabilité technique.

Les équipements frigorifiques importés en Afrique sont souvent des ensembles conçus en Europe et livrés "en kit", souvent très compacts, dans lesquels les interventions ne sont pas faciles. Les groupes d'eau glacée ne sont pas toujours installés dans des locaux techniques et la mise en place d'un réservoir tampon isolé thermiquement est encombrant...

Pour les bâtiments existants, bien souvent il n'existe pas de dossier technique. S'il existe quelques plans d'architecte, ils sont souvent incomplets et ne reflètent qu'une partie de la réalité : entre ce qui est conçu et ce qui est livré, il peut y avoir des différences importantes...

Par conséquent il est préférable de faire une approche neuve du groupe d'eau glacée. En restant très simple, la première chose à établir est la cohérence du choix du groupe existant. En plaçant un compteur horaire sur chaque compresseur et en relevant indépendamment les heures de

fonctionnement durant les heures d'utilisation de l'immeuble et idem durant les heures d'absence du personnel, on déterminera la charge des équipements frigorifiques (il importe de vérifier que le groupe d'eau glacée soit commandé par la température de retour de l'eau).

Ces mesures peuvent donner des résultats très différents suivant le type d'immeuble, le mode d'utilisation, la régulation, etc... des conclusions très diverses peuvent être tirées. On ne peut conclure par une règle générale à adopter dans chaque cas.

Exemple pour mesurer la complexité de cette étude : si sur une journée type (journée que l'on retrouve huit mois sur douze), on constate par exemple que les groupes ont fonctionné durant le même nombre d'heures que l'utilisation de l'immeuble, ils sont à une charge maximum. Il y a d'ailleurs lieu de vérifier si le confort demandé est atteint car une production de 100 % non stop peut signifier que le choix du groupe est trop faible par rapport à la demande du bâtiment. Si le confort est atteint, il n'y a aucune marge de manœuvre : le réservoir devra tenir compte de l'ensemble de la capacité du groupe pour une journée complète sauf si des réseaux hydrauliques intermédiaires peuvent être créés et que des vannes puissent être commandées par des thermostats complémentaires commandant les nouvelles zones créées. Lorsque ce découpage aura eu lieu, il faudra vérifier à nouveau le nombre d'heures d'utilisation du groupe car le choix judicieux des points de consignes des nouveaux thermostats qui commanderont les vannes créant les nouveaux circuits devront permettre une meilleure répartition de la production de froid et peut être mettre le doigt sur des zones dans le bâtiment très consommatrices d'énergie : les couloirs, les halls d'entrée, les salles d'attente, etc. (tout endroit de passage en communication avec l'extérieur et dont les portes ne sont pas fermées).

Il est fort peu probable qu'un bâtiment soit en demande de froid de la même manière toute la journée...

4.12 COMMENT AMELIORER LA REGULATION DES DEGIVRAGES ?

Il n'est pas très important de traiter du dégivrage dans les systèmes de climatisation. Certains appareils sont munis de sondes placées dans la batterie de l'évaporateur (en froid seul car en pompe à chaleur, une sonde identique est mise dans la batterie du condenseur) permettant de mettre l'appareil en sécurité en cas d'apparition de givre important.

Si du givre apparaît sur la batterie, son origine a certainement des origines autres que la gestion du dégivrage. En évaporant à une température de 5°, en fonctionnement normal, il ne doit pas y avoir de givre sur la batterie. L'origine de cet anomalie peut venir d'un manque de réfrigérant suite à une fuite, d'un fonctionnement à une température de consigne trop basse (15° ou 16°) dans un local avec une porte ouverte en permanence, etc.

4.13 QUELLES TUYAUTERIES ISOLER ?

L'évaporation se fait à pression et température constante. Il importe dès lors qu'à la sortie de l'évaporateur et avant d'arriver au compresseur, les vapeurs de réfrigérant ne se condensent pas. Cela

aurait comme conséquences les risques mécaniques sur les compresseurs (coups de liquide) mais également une perte de capacité frigorifique.

En climatisation individuelle, il faudra vérifier sur quelle unité (intérieure ou extérieure) se trouve le détendeur ou le capillaire (chaque marque a ses méthodes de fabrication).

- ◇ Si le « détendeur » se trouve dans l'unité intérieure, il suffit d'isoler la conduite d'aspiration, il s'agit de la situation classique,
- ◇ Si le « détendeur » se trouve dans l'unité extérieure, la conduite « liquide » doit être isolée car l'échange thermique vers l'ambiance provoquerait, déjà dans la conduite, une évaporation du réfrigérant avant qu'il n'atteigne l'évaporateur. Dans ce cas, au plus la tuyauterie entre les unités est longue au plus le risque d'évaporation dans le tuyau est important, si un soin particulier n'est pas donné à l'isolation.

4.14 REMPLACEMENT DES FLUIDES REFRIGERANTS

Généralement, les installations existantes sont en R22 ou les plus anciennes au R12. C'est surtout ces dernières qui nécessitent un changement de réfrigérant pour s'adapter aux lois en vigueur (convention de Montréal).

En pratique, les fabricants de réfrigérants ont trouvé et mis sur le marché des fluides dont les performances frigorifiques répondent de manière plus ou moins identiques au R12 (à plus ou moins 10% près suivant la marque du fluide) et correspondent aux critères énoncés par la convention de Montréal. Dans ces conditions un changement de fluide se pratique très facilement puisque même l'huile reste compatible avec ce nouveau fluide. On appelle ce nouveau fluide un DROP IN.

Les DROP IN sont très onéreux par rapport au R22 mais moins chères que le R12 qui normalement ne devrait plus être sur le marché mais que l'on trouve très facilement dans toute l'Afrique de l'Ouest.

En Europe, toutes les entreprises, suite à des contrôles, sont contraintes de remplacer le R12 interdit et de prouver, avec un certificat de destruction délivré par une firme spécialisée, que ce réfrigérant a été détruit dans les conditions adéquates.

CHAPITRE 5

UN CONTRAT DE MAINTENANCE AVEC CLAUSE "ENERGIE"
--

INTRODUCTION	106
5.1 PRINCIPE D'UN CONTRAT DE MAINTENANCE AVEC INTERET AUX	106
5.2 REPARTITION DES RESPONSABILITES EN CAS DE DEPASSEMENT DES	107
5.3. MODELE DE CONTRAT TYPE	109
ANNEXE : FICHE D'INTERVENTION	115

INTRODUCTION

L'objectif de ce contrat de maintenance des installations de climatisation des bâtiments en pays tropical avec clause énergie est d'améliorer la qualité de la maintenance en favorisant l'aspect efficacité énergétique. En effet, il est fréquent que les contrats de maintenance soient souvent mal appliqués du fait d'un mauvais contrôle de leur application et de l'absence d'une liaison avec les aspects énergétiques. Ainsi sans que l'exploitant ne se rende compte de la relation possible avec un mauvais entretien des systèmes de climatisation, les temps de fonctionnement augmentent et les systèmes de régulations se détériorent.



Figure 5.1 Local technique d'une installation de climatisation

5.1 PRINCIPE D'UN CONTRAT DE MAINTENANCE AVEC INTERET AUX ECONOMIES D'ENERGIE

Le principe du contrat de maintenance est basé sur le contrôle des coûts globaux d'exploitation. La notion de référence utilisée est celle du calcul du coût d'exploitation sur la base de l'efficacité énergétique moyenne dont la formule est la suivante :

$$\text{Energie froid produit} = C_c + C_p + C_{np}$$

$$EE_{moy} = \frac{\text{Energie froid produit}}{\text{Energie électrique consommée}}$$

$$\text{Consommation} = \frac{\text{Energie froid produit}}{EE_{moy}}$$

Coût total = Consommation* prix du kWh + coût d'exploitation

- C_c = énergie du compresseur
- C_p = énergie des auxiliaires permanents
- C_{np} = énergie des auxiliaires non permanents

Coût d'exploitation = coût du contrat de maintenance, des pièces et consommables fournies ...

Ce coût global d'exploitation sera déterminé pour chaque bâtiment avant l'établissement du contrat de maintenance - énergie sur la base des consommations sur les trois dernières années afin de permettre d'éliminer les points particuliers correspondants à des arrêts, pannes et manifestations exceptionnelles. Ce coût sera comparé au coût de référence du bâtiment en fonction de sa classification (bâtiment à usage de bureaux de type petit tertiaire, bureaux de type grand tertiaire, l'hôtellerie, la santé, les centres commerciaux) pour définir avec le client un coût contractuel de base.

Question :

Comment isoler la consommation de la climatisation par rapport au reste du bâtiment ?

Lors de l'audit énergétique, on peut utiliser les factures annuelles pour déterminer une année de référence en éliminant les mois où il y a eu des événements spéciaux. Cette année de référence permet de déterminer une consommation de référence. En effectuant des enregistrements d'intensité sur les installations de climatisation, on peut calculer une consommation annuelle en climatisation avec un coefficient de correction en fonction de la période d'enregistrement.

Ainsi un taux inférieur au coût moyen du kWh sera prévu pour les améliorations justifiées relatives à la climatisation au niveau de la consommation ; de même en cas de détérioration de l'efficacité, une pénalité supérieure au coût du kWh sera appliquée.

5.2 REPARTITION DES RESPONSABILITES EN CAS DE DEPASSEMENT DES QUOTAS DE CONSOMMATION

Sur la base du coût global d'exploitation défini par le client et le prestataire de service, un contrat est établi afin d'assurer l'entretien et la maintenance des installations de climatisation. Ce coût devra être déterminé après des enregistrements d'intensité ou de consommation permettant de le justifier en

comparaison avec les factures sur les trois dernières années de référence. Des photos de l'installation seront aussi fournies.

Question :

Qui prend en charge les enregistrements puisque le contrat n'est pas encore établi ?

En principe tant que le contrat n'est pas signé, les démarches antérieures sont commerciales et gratuites pour le client. Cependant, il est possible de prévoir avec le client le remboursement de ces frais en cas de non signature du contrat.

Pour permettre au gestionnaire du bâtiment de contrôler ce coût, des fiches d'entretien seront disponible pour chaque appareil afin de permettre de visualiser les paramètres de fonctionnement et toutes les tâches effectuées et à prévoir. Le prestataire de service tiendra un double avec approbation du responsable de contrôle après chaque visite d'entretien.

C'est ainsi que toute surconsommation sera justifiée par le prestataire de service par l'état de l'installation du à un remplacement non effectué par le client sur la fiche d'entretien et/ou d'enregistrement démontrant que le temps d'utilisation est plus long afin d'éviter les pénalités.

Question :

Peut-on joindre les nombres d'heures pour les filtres à air, les déshydrateurs, les courroies, etc. à respecter par le client afin qu'il sache quelle est la bonne gestion des équipements ?

Pour chaque intervention, le prestataire doit indiquer les propositions de remplacement de pièces ou de rénovation du matériel.

De même un rapport justificatif sera fourni en cas de baisse de la consommation afin de pouvoir bénéficier de primes.

Question :

Les enregistrements seront-ils permanents ?

Il appartient au prestataire de service de déterminer les fréquences des enregistrements lui permettant de bénéficier de primes.

De même, un rapport justificatif sera fourni en cas de baisse de la consommation afin de pouvoir bénéficier de primes.

Dans une première phase, le gestionnaire du bâtiment devra s'entourer d'un comité de gestion de l'énergie composé de responsables administratifs, techniques et financiers, du prestataire de service et d'un bureau de contrôle spécialisé. Ceci afin de valider toutes les interventions sur son installation.

Question :

Que va coûter ce contrat ?

En fait, si l'entreprise dispose de compétences internes ou s'il est en mesure de former ses techniciens dans ce sens, le coût sera moins élevé pour le contrôle. Sinon le coût du contrat d'entretien peut être sensiblement supérieur, de l'ordre de 10%, suite aux relevés supplémentaires.

5.3. MODELE DE CONTRAT TYPE

Ce modèle de contrat type constitue un canevas qui peut être adapté par chaque entrepreneur.

CONTRAT D'ENTRETIEN MAINTENANCE ENERGIE N°..... :

Entre les soussignés : dénommé l'entrepreneur et le client,
Il est arrêté et convenu ce qui suit :

ARTICLE 1 : OBJET : L'ENTREPRISE CONCESSIONNAIRE

..... (l'entrepreneur) s'engage moyennant le paiement par l'abonné de la redevance indiquée à l'article 10 à entretenir l'installation de climatisation (et de ventilation) décrite et spécifiée à l'article 2, sur les bases du présent contrat.

ARTICLE 2 : COMPOSITION DE L'INSTALLATION

L'entrepreneur s'engage à vérifier à compter de ce jour, selon la périodicité et dans les limites ci-après, les parties suivantes de l'installation :

1.
2.

Les parties de l'installation faisant l'objet du présent contrat sont limitativement et quantitativement décrites dans l'annexe 1 au présent contrat. Cet annexe est constitué par l'ensemble des plans techniques, les photos de l'installation dans l'état actuel, les enregistrements de températures et d'intensité ainsi que les factures d'électricité sur 3 années. Ces éléments ont permis l'évaluation de la consommation moyenne actuelle en climatisation qui est de KWh. Cette consommation a permis de définir un coût global d'exploitation.

ARTICLE 3 : CONDITIONS GENERALES

L'entretien sera assuré par nos soins pour le maintien de l'installation en état de fonctionnement normal.

Il sera constitué par des visites trimestrielles limitativement désignées :

- ◇ Contrôle de la HP et de la BP,
- ◇ Contrôle d niveau de gaz frigorifique, du débit d'eau et de fuites éventuelles,
- ◇ Contrôle de l'évacuation des condensats et de l'appoint en eau,
- ◇ Réajustement du circuit frigorifique et du niveau du lubrifiant,
- ◇ Echange des filtres déshydrateurs si nécessaire,
- ◇ Vérification des courroies et autres moyens de transmission ; remplacement éventuel,
- ◇ Nettoyage des filtres, des grilles de pulsion et de recyclage d'air,
- ◇ Nettoyage des condenseurs des évaporateurs, tout échangeur de chaleur et de la grille de prise d'air extérieur,
- ◇ Contrôle des systèmes de régulation, commandes thermostatiques et pressostatiques,
- ◇ Vérification et resserrage de l'ensemble des circuits électriques et contrôle de leur bon fonctionnement,
- ◇ Mesures d'intensité des phases et neutre des compresseurs pour comparaison avec la fiche signalétique de performance de l'unité,
- ◇ Resserrage de tous les vis, boulons, écrous pour éliminer d'éventuelles vibrations et faux contact,
- ◇ Proposition de modification éventuelle de l'installation en vue d'améliorer l'efficacité énergétique du système et de la mise en conformité de l'installation par rapport à la réglementation.

La visite annuelle comprendra :

- ◇ La dépose des équipements individuels de climatisation,
- ◇ Le nettoyage général des appareils, moteurs électriques, compresseurs, ailettes de refroidissement, évaporateurs, condenseurs, plaques de fonds ...,
- ◇ La peinture des surfaces extérieures, grattage et peinture des points d'oxydation,
- ◇ Le test d'acidité de l'huile,
- ◇ La lubrification de tous les points de graissage,
- ◇ Le test des résistances de dégivrage,
- ◇ Le contrôle de l'horloge de dégivrage,
- ◇ La vérification et le réglage éventuel de la suspension ou de la fixation des compresseurs,
- ◇ Le contrôle et le resserrage de toutes les connexions mécaniques,
- ◇ Le contrôle de l'étanchéité des canalisations, des raccords, des circuits et charges de fréon, du centrage des ventilateurs et des moteurs électriques,
- ◇ Les enregistrements d'intensité ainsi que le calcul de la consommation moyenne annuelle.

Le présent contrat est limité à l'entretien des installations de climatisation, les dépannages éventuels, après notification téléphonique de votre part. Il ne comprend pas la fourniture de pièces détachées, d'huile et de réfrigérant, qui feront l'objet d'une facturation supplémentaire.

ARTICLE 4

L'Entrepreneur s'engage à justifier toute surconsommation d'électricité sur la base de la valeur moyenne indiquée à l'article 2.

Toute surconsommation non justifiée sera pénalisée au taux de FCFA/kWh.

Question :

Quel critère sera appliqué pour comparer les années entre-elles ?

Il se peut que la météo soit différente, que les locaux changent d'affectation, que les heures d'utilisation ne soient plus les mêmes, ... Tout cela doit être justifié dans le rapport du prestataire de service ; de plus les fiches d'intervention indiqueront la localisation du matériel, les conditions climatiques extérieures et donc permettent de se rendre compte des changements.

ARTICLE 5

Ne font pas partie du présent contrat :

- ◇ Toute prestation qui n'est pas spécifiée explicitement ci-devant : notamment les pannes et travaux de rénovation qui seront facturés,
- ◇ Toute responsabilité suite à une modification de l'installation par un tiers sans notre assentiment (y compris les accidents corporels),
- ◇ Les travaux et livraison rendus nécessaires par de nouvelles lois, la livraison de gaz réfrigérant et d'huile incongelable,
- ◇ L'entretien des locaux où sont disposés les machines frigorifiques. De même, les pertes éventuelles d'appareillage.

ARTICLE 6

A chaque visite d'entretien, les spécialistes délégués par l'entrepreneur rempliront les fiches d'exploitation dont le modèle figure ci-joint : un exemplaire de ce dernier sera toujours disponible près de chaque appareil. Les interventions seront approuvées après présentation d'un rapport de synthèse.

ARTICLE 7

L'entrepreneur n'est responsable que des dommages causés par la faute certaine de son propre personnel, en aucun cas, il ne répondra de la vétusté ou de l'usure de tout ou partie de l'installation.

L'entrepreneur ne sera pas rendu responsable de l'absence ou d'un retard de prestation ayant pour motif la grève, le feu, l'inondation, le court-circuit, les épidémies et tout autre cas de force majeure. L'arrêt momentané des installations pour réparation ou entretien ne sera susceptible d'ouvrir pour le client, droit à une indemnité, réduction de la redevance d'entretien, ou résiliation de la présente.

Le client reconnaît que, dans le cas de matériel de modèle obsolète ou n'entrant plus dans le cadre de fourniture courante de l'entrepreneur, celui-ci puisse se trouver dans l'impossibilité d'assurer la fourniture des pièces de rechanges indispensables au maintien en fonctionnement. Dans cette éventualité, l'entrepreneur informera sans plus tarder le client, afin d'envisager de commun accord une solution judiciaire.

Il est expressément convenu qu'aucune modification ne sera apportée à l'installation sans en référer au préalable à l'entrepreneur, restant entendu que ces modifications éventuelles peuvent être de nature à entraîner la révision du présent contrat.

ARTICLE 8

Si les travaux prévus par le contrat sont rendus plus difficiles à la suite d'une utilisation anormale, défaut de l'alimentation électrique, d'utilisation d'eau anormalement sale ou corrosive, ainsi qu'en raison de malveillance ou de tout autre cas de force majeure, l'entrepreneur se réserve le droit de procéder à une facturation supplémentaire.

ARTICLE 9

Le libre accès des installations sera toujours permis aux techniciens de l'entreprise.

ARTICLE 10

Pour l'entretien tel que défini à l'article 2 du présent contrat, l'entrepreneur percevra une redevance annuelle et forfaitaire, couvrant le déplacement et la main d'œuvre payable anticipativement de

..... FCFA/HTVA/an
soit FCFA/TTC/an

Les visites seront au nombre de 3 visites trimestrielles et d'une visite annuelle.

Question :

Ne faudrait-il pas établir un canevas plus précis reprenant les composants et appliquer les visites suivant les équipements sur place ?

Oui, ceci est possible, surtout dans le cas où les sites sont dispersés de manière géographique)

ARTICLE 11

Une rémunération supplémentaire sera accordée au taux de ... FCFA/kWh en cas de réduction justifiée de la consommation d'électricité due à l'amélioration du système de climatisation. La valeur de référence est définie à l'article 2.

ARTICLE 12

La redevance pourra être révisable à chaque échéance en fonction de l'index des salaires et des charges sociales en vigueur pour la République du, selon la formule de révision suivante :

$$P = P_o \left(\frac{0,5O}{O_o} + \frac{0,3M}{M_o} + \frac{0,2T}{T_o} \right) \frac{1 + C}{1 + C_o}$$

- P = Redevance révisée
- P_o = Redevance de base
- O_o = Ouvrier 4^e Catégorie
- M_o = Agent de maîtrise
- T_o = Transport de base sur coût du litre d'essence super
- C_o = Charges sociales sur salaires

ARTICLE 13

Le contrat est conclu pour une durée minimum et indivisible d'un an à compter de la date de signature de la présente.

En l'absence d'un préavis écrit par lettre recommandée, envoyé par l'une ou l'autre des parties, 2 mois avant la date d'expiration du présent contrat, celui-ci sera de plein droit reconduit pour une nouvelle période d'un an.

ARTICLE 14

Le présent contrat ne dispense pas le client d'apporter à son installation tous les soins nécessaires et de prendre toutes les mesures conservatoires en cas d'accident ou d'incident avant que l'entrepreneur ait été en mesure d'intervenir. Il implique pour le client de mettre tout en œuvre pour faciliter la tâche du personnel de l'entrepreneur. En cas d'impossibilité d'accès chez le client, la prestation sera censée avoir été accomplie comme prévu au contrat.

Le présent contrat prévaut sur toutes les clauses générales ou particulières figurant dans la correspondance ou sur les documents du client sauf si les clauses générales ou parties ont fait l'objet d'un accord écrit formel.

Toute réclamation relative à un travail doit être formulée par lettre recommandée dans les trois jours du fait donnant lieu à réclamation.

Le présent contrat ne comporte aucune modification aux conditions générales ou particulières du contrat de vente qui existe éventuellement entre parties ni aux conditions de la garantie, ni à la spécification du matériel vendu sauf accord spécial entre partie.

ARTICLE 15

En cas de litige au sujet de l'application du présent contrat, attribution de compétence est fait au tribunal du commerce

ARTICLE 16

Pour l'application de ce présent contrat, l'entrepreneur peut prier le bénéficiaire de mettre à l'arrêt ou hors service une partie ou la totalité de l'installation afin de remplir les obligations liées au présent contrat.

ARTICLE 17

Les présentes dispositions entreront en vigueur à la date du :

ARTICLE 18

Dans le cas de non paiement de la redevance échue, qu'elle qu'en soit la cause, l'entreprise se réserve le droit de suspendre cet entretien aussitôt avis donné par lettre recommandée, sans que l'abonné puisse réclamer des dommages et intérêts ou une indemnité dans le cas d'accidents ou de perturbations qui pourraient se produire du fait de l'interruption de l'entretien et des dépannages éventuels de l'installation.

.....(ville), le(date)

L'entreprise concessionnaire

L'abonné

ARTICLE 10BIS

Un supplément sur la redevance annuelle deFCFA/TTC/technicien pour assurer la permanence sur site afin d'effectuer les travaux d'entretien et les relevés journaliers des caractéristiques principales de fonctionnement et les consommations électriques.

ANNEXE : FICHE D'INTERVENTION

FICHE D'INTERVENTION

Année :

CLIENT :

Type de matériel :	Marque :	Localisation :	
Date d'installation :	N° de série :	Référence :	
Caractéristiques de l'installation :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% de consigne :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss nominale :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Type de compresseur :	
Fluide frigorigène :	Ratio de cons° maxi :	Ref compresseur :	
1er trimestre - Intervention du :			
Description de la tâche :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% du local :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss mesurée :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Ratio de cons° maxi :	
Etat général du système :			
Proposition de remplacement de pièces ou de rénovation :			
2è trimestre - Intervention du :			
Description de la tâche :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% du local :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss mesurée :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Ratio de cons° maxi :	
Etat général du système :			
Proposition de remplacement de pièces ou de rénovation :			
3è trimestre - Intervention du :			
Description de la tâche :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% du local :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss mesurée :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Ratio de cons° maxi :	
Etat général du système :			
Proposition de remplacement de pièces ou de rénovation :			
4è trimestre - Intervention du :			
Description de la tâche :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% du local :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss mesurée :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Ratio de cons° maxi :	
Etat général du système :			
Proposition de remplacement de pièces ou de rénovation :			
AUTRES INTERVENTIONS :			
Description de la tâche :			
Pression asp :	Press° de refoult :	T°/H% du local :	T°/H% ext :
Puiss frigo :	Puiss mesurée :	Intensité mesurée/phase :	
T° asp condenseur :	T° refoult condens :	Ratio de cons° maxi :	
Etat général du système :			
Proposition de remplacement de pièces ou de rénovation :			

UN CONTRAT DE MAINTENANCE AVEC CLAUSE "ENERGIE"—————

CHAPITRE 6

VERS UNE REGLEMENTATION THERMIQUE MINIMALE DE L'EXPLOITATION DES SYSTEMES DE CLIMATISATION

INTRODUCTION	118
6.1 METHODOLOGIE	118
6.2 DONNEES SUR L'EXISTANT	119
6.2.1 Consommations spécifiques moyennes par type de bâtiment	121
6.2.2 Consommations spécifiques moyennes de climatisation	121
6.2.3 Consommations spécifiques moyennes d'éclairage	122
6.3 ANALYSE DES MODES OPERATOIRES ACTUELS	122
6.3.1 Au niveau de la ventilation et de la climatisation	122
6.3.2 Au niveau de l'éclairage	123
6.3.3 Au niveau de la ventilation mécanique contrôlée	124
6.3.4 Au niveau de la régulation et des performances des équipements frigorifiques	125
6.4 RECOMMANDATIONS POUR UNE REGLEMENTATION MINIMALE	126
6.4.1 Définition des exigences d'exploitation	126
6.4.2 Critères de performance des équipements	128

INTRODUCTION

L'objet de la présente section est de définir des exigences d'exploitation minimales pour une réglementation énergétique et thermique de l'exploitation des systèmes de climatisation de bâtiments en Afrique subsaharienne.

Le tome I - chapitre 6 du présent ouvrage a proposé une réglementation thermique minimale de la conception des bâtiments et des systèmes. La différence que le lecteur constatera entre ces deux réglementations se situe au plan des niveaux de contrainte des exigences.

Dans le tome I, il s'agissait de guider les choix du concepteur afin d'optimiser les performances futures de l'ensemble bâtiment-systèmes. A ce stade le concepteur jouit d'une certaine liberté, de sorte que ses objectifs d'optimisation peuvent conduire à des niveaux de contrainte plus élevés que ceux qui s'imposeraient à l'exploitant du bâtiment pour qui plusieurs variables sont fixés d'entrée.

Les caractéristiques des bâtiments existants servant nécessairement de point de départ à l'analyse, le lecteur peut par conséquent s'attendre à une réglementation de l'exploitation moins exigeante que la réglementation de la conception.

Les auteurs du présent chapitre remercient le projet PNUD/FEM RAF/93/G32 « Réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments en Afrique de l'Ouest : Côte d'Ivoire / Sénégal » pour la mise à disposition des résultats d'audits énergétiques et de caractérisation énergétique des patrimoines immobiliers effectués sur la Côte d'Ivoire et le Sénégal entre 1997 et 1999.

6.1 METHODOLOGIE

Notre méthodologie s'applique dans son principe à tout pays, et notamment à tout pays subsaharien. Mais les chiffres disponibles pour la définition des exigences recommandées étant ici ceux de la Côte d'Ivoire, le lecteur devra prendre les précautions scientifiques appropriées en généralisant ces exigences à d'autres pays subsahariens.

La figure 6.1 expose la méthodologie. Celle-ci s'articule autour de trois points : la présentation de l'existant, l'analyse critique de la situation existante et les recommandations pour une réglementation minimale.

◆ Présentation de l'existant

Cette étude s'appuie sur les résultats d'audits énergétiques, les bases de données énergétiques existantes et les réglementations en vigueur pour recueillir des informations et des chiffres sur le patrimoine bâti :

- ◇ Consommation spécifique par type de bâtiment,
- ◇ Consommation spécifique par type de climatisation,

- ◇ Niveau d'éclairage par type de bâtiment,
- ◇ Ventilation mécanique,
- ◇ Régulation et performance des équipements frigorifiques.

◆ **Analyse critique de la situation existante**

Dans un contexte de type « effort minimal », l'analyse portant sur les points suivants :

- ◇ Caractéristiques génériques des équipements,
- ◇ Caractéristiques génériques des procédures d'exploitation et du mode de gestion aboutit à l'identification de mesures d'économies d'énergie quantifiées en terme de ratio génériques minimaux de réduction de la consommation.

◆ **Recommandations pour une réglementation minimale**

Les économies réalisables, liées aux améliorations possibles de l'exploitation, du mode de gestion et de la qualité des équipements, conduisent ainsi à des exigences de performance attendues, dans le cadre de recommandations pour une réglementation énergétique et thermique minimale de l'exploitation des systèmes de climatisation de bâtiments en Afrique subsaharienne.

6.2 DONNEES SUR L'EXISTANT

La base de données constituée par le projet PNUD/FEM RAF/93/G32 sur la Côte d'Ivoire contient des données recueillies sur un parc de 404 bâtiments dont 175 du secteur privé et 228 du secteur public. Tous ces bâtiments ont une consommation annuelle supérieure à 100.000 kWh. Un échantillon constitué de 72 bâtiments classés par catégories sectorielles avec une consommation globale représentant 60% de la consommation de l'ensemble du parc a fait l'objet de diagnostics énergétiques assortis de mesures d'économies d'énergies.

Ces données constituent la matière première des analyses et des recommandations qui suivent, et indiquent que les consommations de la climatisation et de l'éclairage représentent 80% de la consommation d'énergie des bâtiments analysés. Elles permettent de constater également que l'essentiel du potentiel des économies d'énergie se trouve dans ces deux utilisations, justifiant ainsi l'intérêt accordé dans la présente section à ces deux usages finaux de l'énergie dans les bâtiments.

Les données sont disponibles dans les catégories sectorielles ci-dessous extraites de la typologie adoptée dans les travaux de caractérisation du projet PNUD/FEM RAF/93/G32 :

- ◇ Banques, écoles, hôtels, hôpitaux,
- ◇ Bâtiments spécialisés (ex. : centraux téléphoniques),
- ◇ Edifices à bureaux administratifs ou privés,

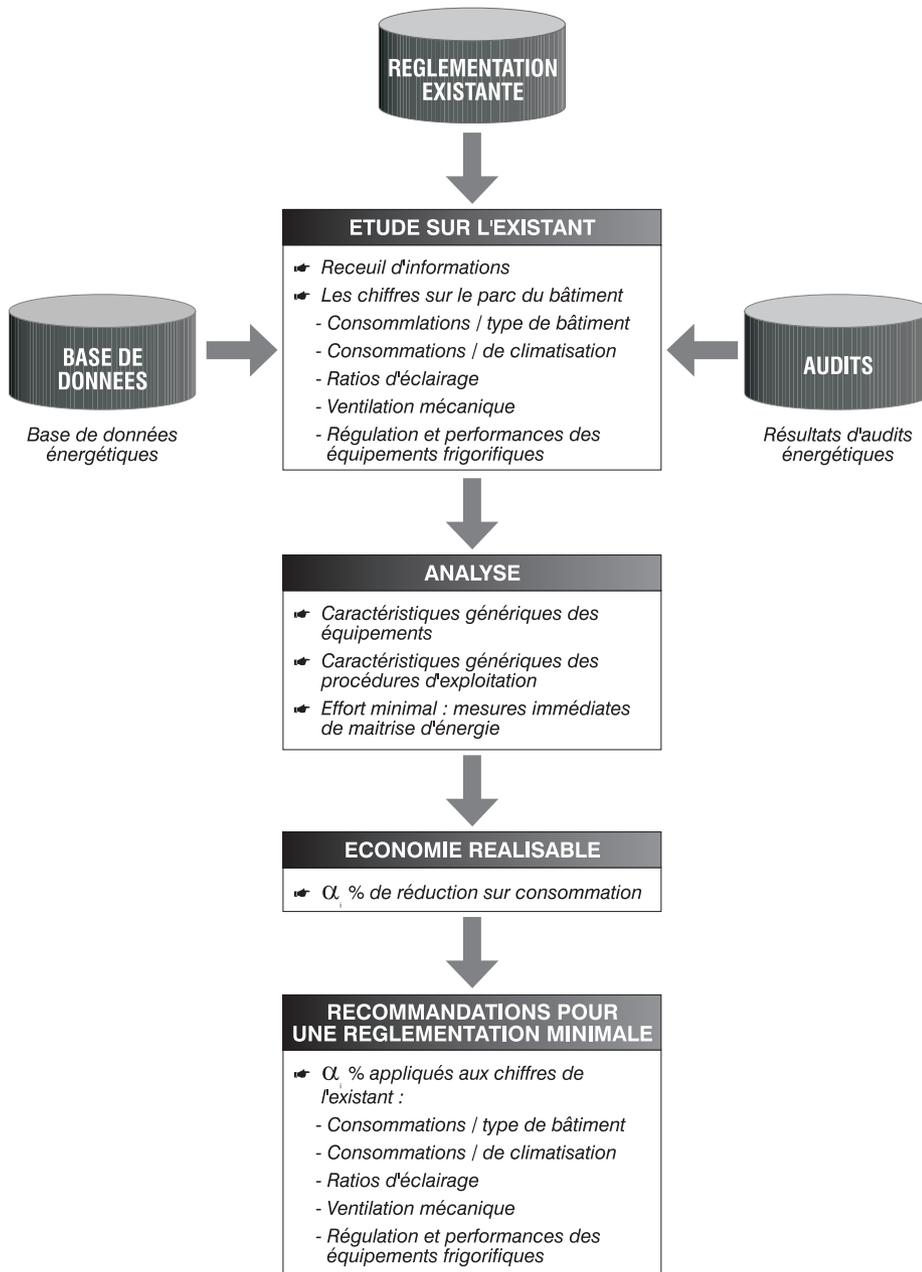


Figure 6.1 : Méthodologie

6.2.1 Consommations spécifiques moyennes par type de bâtiment

Le tableau 6.1 présente les consommations énergétiques globales et spécifiques des bâtiments audités toutes utilisations (climatisation et éclairage) confondues. Les quantités dites «spécifiques» sont rapportées ici à la surface totale des bâtiments considérés.

<i>Types de bâtiment</i>	<i>Nombre</i>	Consommations globales [kWh/an]	Consommations spécifiques [kWh/(m².an)]
Banques	4	7 339 643	189
Bâtiments spécialisés	10	8 614 346	234
Ecoles	6	13 946 512	65
Edifices à bureaux administratifs	23	60 913 774	150
Edifices à bureaux privés	8	17 050 361	127
Hôpitaux	7	26 812 673	172
Hôtels	6	15 893 904	281

Tableau 6.1 Consommations globales et spécifiques des bâtiments audités

6.2.2 Consommations spécifiques moyennes de climatisation

Le tableau 6.2 présente pour l'usage « climatisation » les consommations énergétiques globales et spécifiques des bâtiments audités. Les quantités dites «spécifiques» sont rapportées ici à la surface totale des locaux climatisés des bâtiments considérés.

<i>Types de bâtiment</i>	Nombre	Consommations globales [kWh /an]	Consommations spécifiques [kWh/(m².an)]
Banques	4	4 982 473	204
Bâtiments spécialisés	10	5 594 609	259
Ecoles	6	9 534 961	100
Edifices à bureaux administratifs	23	42 474 056	190
Edifices à bureaux privés	8	10 458 569	124
Hôpitaux	7	20 293 551	234
Hôtels	6	9 420 684	204

Tableau 6.2 Climatisation: consommations globales et spécifiques des bâtiments audités

6.2.3 Consommations spécifiques moyennes d'éclairage

Le tableau 6.3 présente pour l'usage « éclairage » les consommations énergétiques globales et spécifiques des bâtiments audités. Les quantités dites « spécifiques » sont rapportées ici à la surface totale des bâtiments considérés.

<i>Types de bâtiment</i>	Nombre	Consommations globales [kWh/an]	Consommations spécifiques [kWh/(m².an)]
Banques	4	869 177	22
Bâtiments spécialisés	10	872 223	24
Ecoles	6	2 464 820	11
Edifices à bureaux administratifs	23	7 849 769	19
Edifices à bureaux privés	8	2 077 366	15
Hôpitaux	7	2 754 372	18
Hôtels	6	3 261 256	58

Tableau 6.3 Eclairage: consommations globales et spécifiques des bâtiments audités

6.3 ANALYSE DES MODES OPERATOIRES ACTUELS

La synthèse des audits énergétiques citée plus haut a permis de souligner les mesures d'économie d'énergie dites génériques et minimales et répertoriées par secteurs de bâtiment et par utilisation dans les sections qui suivent.

Le caractère générique vient de ce que ces mesures ont typiquement été recommandées sur plus de 80% des bâtiments audités à l'intérieur des catégories sectorielles et des catégories d'utilisation. Le caractère minimal vient de ce que le temps de retour de l'investissement attaché à la mise en œuvre de ces mesures reste typiquement en dessous des six mois. Illustrant ainsi le concept de « l'effort minimal » de l'exploitant de bâtiments, les mesures d'économies d'énergies génériques et minimales serviront de base à la détermination des performances énergétiques et thermiques proposées dans le contexte d'une réglementation dite minimale.

6.3.1 Au niveau de la ventilation et de la climatisation

L'ensemble des mesures d'économies d'énergie identifiées par les audits se présente comme suit :

- ◇ Adaptation des horaires de fonctionnement des systèmes de ventilation et de climatisation,
- ◇ Entretien des équipements de climatisation,
- ◇ Relèvement des températures de consigne des thermostats,
- ◇ Réduction des débits d'air neuf,

- ◇ Amélioration du contrôle des volets de soufflage d'air neuf,
- ◇ Adaptation de la température d'eau glacée dans les refroidisseurs d'eau (6 à 9°C),
- ◇ Arrêt de la climatisation en période d'inoccupation.

La condition de mesure « générique et minimale » réduit la liste de mesures envisageables dans le contexte de l'effort dit minimal de maîtrise de l'énergie appliquée à la ventilation et à la climatisation à :

- ◇ Adaptation des horaires de fonctionnement des systèmes de ventilation et de climatisation,
- ◇ Entretien des équipements de climatisation,
- ◇ Relèvement des températures de consignes des thermostats (hôtels uniquement),
- ◇ Réduction des débits d'air neuf (hôtels uniquement).

6.3.2 Au niveau de l'éclairage

L'ensemble des mesures d'économies d'énergie identifiées par les audits se présente comme suit :

- ◇ Réduction du temps de fonctionnement de l'éclairage. Souvent il convient d'envisager cette mesure en premier lieu puisque sa rentabilité est excellente quel que soit le type d'éclairage,
- ◇ Remplacement des lampes par des lampes plus économes en énergie. La rentabilité est bonne si les supports des lampes sont conservés dans l'opération. Par contre, si la mesure nécessite aussi le remplacement des supports, cela entraîne une rénovation en profondeur, des investissements importants, et une moins bonne rentabilité,
- ◇ Réduction de la densité d'éclairage.

A l'exception de la mesure de réduction de la densité d'éclairage, les mesures listées satisfont la condition de mesure « générique et minimale » et sont envisageables dans le contexte de l'effort dit minimal de maîtrise de l'énergie appliquée à l'éclairage.

Le tableau 6.4 présente les ratios moyens d'économies d'énergie réalisables par l'application des mesures dites génériques et minimales pour chaque utilisation (climatisation et éclairage) et pour chaque catégorie de bâtiment.

Types de bâtiment	Climatisation [%]	Eclairage [%]	Moyenne pondérée [%]
Bureaux publics	30	22	24
Bureaux privés	15	7	10
Hôpitaux	15	13	13
Hôtels	19	17	15
Ecoles	18	-	12
Banques	9	-	6

Tableau 6.4 Economies réalisables par l'application des mesures génériques et de faible investissement sur les consommations de climatisation et d'éclairage.

6.3.3 Au niveau de la ventilation mécanique contrôlée

La ventilation mécanique permet d'assurer dans les locaux de l'immeuble la distribution d'air extérieur éventuellement mélangé à de l'air repris à l'intérieur du local. Contrairement à la ventilation naturelle, la ventilation mécanique est réalisée en faisant usage de moyens techniques dits « spécifiques » ou « artificiels ».

La synthèse des résultats d'audits énergétiques effectuée par le projet PNUD/FEM RAF/93/G32 indique que les mesures d'efficacité énergétique relatives à la ventilation mécanique portent essentiellement sur :

- ◇ L'entretien du système de ventilation. L'entretien a deux incidences sur l'efficacité énergétique à savoir le maintien du bon fonctionnement (par exemple la lubrification réduit la consommation d'électricité des moteurs à travers la réduction des résistances de frottement) et la réduction des besoins énergétiques (par exemple le nettoyage périodique des surfaces d'échange des batteries de refroidissement améliore les transferts thermiques).

Les travaux d'entretien consistent généralement en :

- ◇ La vérification de l'étanchéité du circuit aéraulique,
- ◇ Le nettoyage périodique des échangeurs,
- ◇ Le remplacement des filtres,
- ◇ Les contrôle et réglage des ventilateurs,
- ◇ L'adaptation des horaires de fonctionnement. L'adaptation des horaires de fonctionnement a pour objectif de réaliser l'adéquation optimale entre la fourniture des services énergétiques et l'occupation des locaux. Cette adaptation conduit souvent à la réduction des horaires de fonctionnement des systèmes,
- ◇ L'optimisation des débits d'air neuf. Traiter (filtrer, déshumidifier ou humidifier) puis refroidir l'air neuf introduit dans un local constituant une charge énergétique importante, l'air neuf

représente un enjeu significatif d'économie d'énergie. L'action sur les débits d'air neuf consiste à les réduire aux standards d'hygiène prévus par les autorités de la Santé.

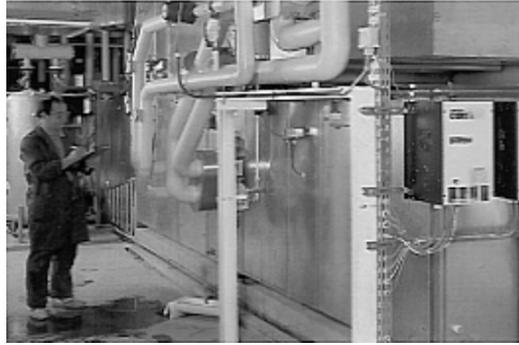


Figure 6.2 *Nécessité d'un contrôle régulier d'une installation*

Les données disponibles ne permettent pas présentement de proposer des performances minimales au niveau de la ventilation mécanique contrôlée.

6.3.4 Au niveau de la régulation et des performances des équipements frigorifiques

Les mesures d'efficacité énergétique relatives aux équipements frigorifiques sont essentiellement l'entretien, l'adaptation des horaires de fonctionnement et le relèvement des températures de consigne. Les travaux d'entretien consistent notamment à :

- ◇ Optimiser la charge de réfrigérant,
- ◇ Suivre l'encrassement des condenseurs,
- ◇ Contrôler les pertes de pression du circuit hydraulique,
- ◇ Nettoyer et brosser régulièrement les ailettes des échangeurs.

Le relèvement des températures de consigne consiste par exemple pour les refroidisseurs à eau glacée, à maintenir la température de l'eau glacée la moins froide possible selon les besoins et la saison. Cette mesure peut contribuer de façon sensible à améliorer la performance du refroidisseur car il est bien reconnu qu'une élévation de la température de l'eau glacée de 3°C, est susceptible d'entraîner une réduction de 10% de la puissance exigée au compresseur.

Il est capital de noter que la réalisation des mesures telles que l'adaptation des horaires de marche, le contrôle des températures de consigne et le réglage des débits d'air neuf est largement tributaire du fonctionnement adéquat des dispositifs de régulation. D'après la synthèse des résultats des audits du

projet PNUD/FEM RAF/93/G32, les systèmes de régulation restent trop souvent le maillon faible parce que présentant typiquement deux faiblesses: un réglage inadéquat et un entretien insuffisant. Les données disponibles ne permettent malheureusement pas présentement de recommander des chiffres de performances minimales au niveau de la régulation. Cependant, qualitativement, au regard de l'important potentiel d'économies d'énergie trop souvent invalidé par le fonctionnement inadéquat des systèmes de régulation, il convient par conséquent de recommander pour ceux-ci des contrôles fréquents et rigoureux.

6.4 RECOMMANDATIONS POUR UNE REGLEMENTATION MINIMALE

Cette section est l'aboutissement des parties précédentes et propose au lecteur des ratios d'économies réalisables dans le contexte d'un effort minimal. Pour chaque utilisation (climatisation et éclairage) et pour chaque catégorie de bâtiment, les chiffres de consommations énergétiques spécifiques recommandés (Tableaux 6.5 à 6.7) s'obtiennent en déduisant des consommations énergétiques spécifiques présentement observées (Tableaux 6.1 à 6.3) sur les bâtiments audités les valeurs moyennes d'économies d'énergie réalisables par l'application des mesures génériques et minimales. Ces dernières sont obtenues par le produit des consommations spécifiques présentes (Tableaux 6.1 à 6.3) par les ratios moyens d'économies d'énergie réalisables par l'application des mesures génériques et minimales (Tableau 6.4).

6.4.1 Définition des exigences d'exploitation

6.4.1.1 Consommation spécifique moyenne par type de bâtiment

Type de bâtiment	Consommations spécifiques observées [kWh/(m ² .an)]	Economie minimale réalisable à travers les mesures génériques [%]	Consommation spécifique recommandée [kWh/(m ² .an)]
Bureaux publics	150	24	115
Bureaux privés	127	10	114
Hôpitaux	172	13	150
Hôtels	281	15	240
Ecoles	65	12	57
Banques	189	6	177

Tableau 6.5 Consommations spécifiques recommandées, toutes utilisations confondues

6.4.1.2 Consommation spécifique moyenne de climatisation par type de bâtiment

Type de bâtiment	Consommation spécifique de la climatisation [kWh/(m ² .an)]	Economie réalisable sur la consommation de la climatisation [%]	Consommation spécifique recommandée [kWh/(m ² .an)]
Bureaux publics	190	30	133
Bureaux privés	124	15	105
Hôpitaux	234	15	199
Hôtels	204	19	165
Ecoles	100	18	82
Banques	204	9	185

Tableau 6.6 Climatisation: consommations spécifiques recommandées.

6.4.1.3. Consommations spécifiques moyennes d'éclairage par type de bâtiment

Type de bâtiment	Consommations spécifiques observées [kWh/(m ² .an)]	Economies moyennes réalisables à travers les mesures génériques et minimales [%]	Consommations spécifiques recommandées [kWh/(m ² .an)]
Bureaux publics	19	22 %	15
Bureaux privés	15	7 %	14
Hôpitaux	18	13 %	16
Hôtels	58	17 %	48
Ecoles	11	-	11
Banques	22	-	22

Tableau 6.7 Eclairage: consommations spécifiques recommandées

6.4.1.4 Consommations spécifiques applicables aux pays d'Afrique subsaharienne

L'utilisation de la méthodologie appliquée plus haut pour déterminer les recommandations de cette section s'appuie sur la disponibilité de résultats de campagnes extensives d'audits énergétiques et de caractérisation énergétique réalisés sur le patrimoine immobilier.

Ainsi en toute rigueur, la recommandation minimale formulée dans cette section, développée sur le cas et les données ivoiriens, traduit la notion d'effort minimal dans le contexte de ce pays.

Afin d'être en mesure de quantifier la notion d'effort minimal spécifique à d'autres pays subsahariens, il conviendrait de disposer de diagnostics énergétiques similaires effectués dans ces pays. En première approximation, en l'absence de données locales, et en admettant que les pays d'Afrique subsaharienne sont sensiblement au même niveau de maîtrise de l'énergie dans l'exploitation des équipements de bâtiments, des précautions appropriées permettront de dégager des chiffres déduits du cas ivoirien une indication des exigences d'une réglementation thermique minimale applicable ailleurs en Afrique subsaharienne.

Pour ce faire il conviendra d'estimer un facteur correctif exprimant la comparaison entre pays des niveaux de consommation énergétique. Ce facteur sera d'autant plus proche de l'unité que les niveaux de consommation énergétique du pays considéré seront comparables au cas ivoirien traité.

Ce facteur incorporerait ainsi l'influence de la zone climatique en aval et par conséquent permet en l'absence de données de diagnostics énergétiques une approche raisonnable des exigences à prendre en compte dans l'exploitation optimale des systèmes de climatisation en Afrique subsaharienne à partir des recommandations proposées dans ce chapitre.

6.4.2 Critères de performance des équipements

6.4.2.1 Ventilation mécanique contrôlée

Les données disponibles ne permettant pas présentement de recommander des chiffres de performances au niveau de la ventilation mécanique contrôlée, des recommandations qualitatives seront présentées dans cette section pour une exploitation optimale des systèmes de ventilation.

L'analyse des modes opératoires actuels nous a permis de constater plus haut qu'en matière de maîtrise de l'énergie, les faiblesses à corriger se situent essentiellement au niveau de :

- ◇ L'entretien du système,
- ◇ L'adaptation des périodes de fonctionnement. Si l'installation de ventilation ne peut être arrêtée, on devra procéder à la recirculation de l'air en période d'inoccupation,
- ◇ Le réglage du système de ventilation. Le débit d'air neuf ne devra pas excéder 40% du débit minimum de renouvellement d'air recommandé par les règlements relatifs à la santé, à l'hygiène et à la salubrité en vigueur localement. En cas de non disponibilité de ces chiffres, il conviendra de se référer aux valeurs suivantes recommandées par l'O.M.S. : 18 m³ par heure et par personne dans les locaux sans fumeurs et 25 m³ par heure et par personne dans les locaux avec fumeurs,
- ◇ La fixation du niveau de consigne des températures. L'IEPF recommande (ref. : Atelier de formation des experts conseils en efficacité énergétique IEPF/FEM/PNUD/ACCT/CMA, Yamoussoukro, Avril 1997), des écarts de températures variant de 6 à 12°C entre l'extérieur et l'intérieur.

6.4.2.2 Coefficient de performance globale des installations frigorifiques

Le coefficient de performance (COP), rapport de l'énergie frigorifique produite à l'énergie électrique consommée par une installation frigorifique sert d'indicateur d'utilisation rationnelle de l'énergie.

Pour les climatiseurs à détente directe et refroidissement par air, le compresseur, les ventilateurs de l'évaporateur et du condenseur sont intéressés par le calcul du COP. Pour les groupes frigorifiques à production d'eau glacée, et à refroidissement par eau, le calcul du COP prend en compte le compresseur et les systèmes accessoires internes du groupe, mais ne prend pas en compte les pompes d'eau glacée, les pompes d'eau de condensation et les ventilateurs des tours de refroidissement. Enfin pour les groupes frigorifiques à production d'eau glacée, et à refroidissement du condenseur par air, le calcul du COP prend en compte le compresseur, les systèmes accessoires internes du groupe, les ventilateurs du condenseur, mais ne prend pas en compte les pompes d'eau glacée.

Le Tableau 6.8 présente les valeurs minimales de COP recommandées pour différentes configurations d'équipements frigorifiques par le projet PNUD/FEM RAF/93/G32 dans le cadre de son projet de réglementation énergétique et thermique des bâtiments neufs en Côte d'Ivoire. Ces valeurs proposées dans le contexte de l'acquisition de matériel neuf sont bien applicables à la réhabilitation énergétique des bâtiments existants de l'Afrique subsaharienne. En effet, compte tenu de l'âge moyen des équipements de bâtiments dans ces pays (20-30 ans), le remplacement des principaux équipements devient envisageable parmi les meilleures options de réhabilitation.

Type d'équipement	COP minimum recommandé [kWr/kWe]
Climatiseurs de fenêtre	2,8
Split systèmes :	
- Jusqu'à 4 kWr	2,8
- Supérieur à 4 kWr	3,0
Conditionneurs d'air monobloc :	
A refroidissement par air	
- Jusqu'à 10 kWr	2,5
- Supérieur à 10 kWr	2,9
A refroidissement par eau	3,5
Groupes de production d'eau glacée à pistons :	
A refroidissement par air	
- Jusqu'à 100 kWr	3,0
- Supérieur à 100 kWr	3,0
A refroidissement par eau	
- Jusqu'à 10 kWr	3,7
- Supérieur à 10 kWr	4,0
Groupes de production d'eau glacée à vis :	
A refroidissement par air	4,5
A refroidissement par eau	
- Jusqu'à 800 kWr	4,6
- Supérieur à 800 kWr	5,0
Groupes de production d'eau glacée centrifuges :	
A refroidissement par air	3,8
- Jusqu'à 800 kWr	3,8
- Supérieur à 800 kWr	
A refroidissement par eau	4,5
- Jusqu'à 800 kWr	4,7
- Supérieur à 800 kWr	

Tableau 6.8 Coefficients de performance minimaux recommandés pour différents équipements frigorifiques : remplacement à l'issue de la durée de vie des équipements.

Notes :

- kW_r = kilo Watt réfrigération
- kW_e = kilo Watt électrique
- Conditions standard pour climatiseurs, splits et systèmes monoblocs à refroidissement par air (standard ARI 510) :
 - conditions intérieures = 27°C, 50% HR,
 - conditions extérieures = 35°C bulbe sec et 24°C bulbe humide.
- Conditions standard pour groupes de production d'eau glacée à refroidissement par eau (standard ARI 550-92) :
 - température départ / retour eau glacée = 6,7°C / 12,2°C,
 - température entrée/sortie eau de condensation = 29,4°C / 35,0°C.

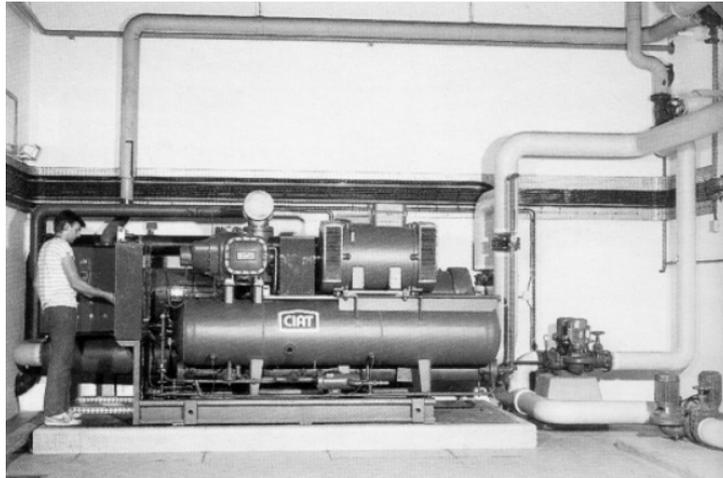


Figure 6.3 Le COP précise l'efficacité de la machine frigorifique



agence intergouvernementale
de la **francophonie**

Opérateur principal de l'Organisation internationale de la Francophonie, **l'Agence intergouvernementale de la Francophonie** regroupe 50 Etats et gouvernements *, répartis sur les cinq continents, rassemblés autour du partage d'une langue commune : le français. Avec les cinq autres pays qui participent aux Sommets de la Francophonie, ce sont au total 55 Etats et gouvernements qui constituent la communauté francophone, soit un pays sur quatre dans le monde regroupant plus d'un demi milliard de personnes. Parmi eux, 170 millions font un usage plus ou moins intensif du français dans leur vie de tous les jours.

Fondée en 1970, avec pour devise : **égalité, complémentarité, solidarité**, l'Agence de la Francophonie mène des actions de coopération multilatérale dans de nombreux domaines: éducation et formation, culture et multimédia, nouvelles technologies de l'information et de la communication, coopération juridique et judiciaire, droits de l'Homme et démocratie, développement et solidarité économiques, énergie et environnement.

*** 50 membres :**

Albanie, Bénin, Bulgarie, Burkina Faso, Burundi, Cambodge, Cameroun, Canada, Canada-Nouveau Brunswick, Canada-Québec, Cap-Vert, Centrafrique, Communauté française de Belgique, Comores, Congo, R.D. Congo, Côte-d'Ivoire, Djibouti, Dominique, Égypte, France, Gabon, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée-équatoriale, Haïti, Laos, Liban, Luxembourg, ARY Macédoine, Madagascar, Mali, Maroc, Maurice, Mauritanie, Moldavie, Monaco, Niger, Roumanie, Rwanda, Sainte-Lucie, São Tomé et Príncipe, Sénégal, Seychelles, Suisse, Tchad, Togo, Tunisie, Vanuatu, Vietnam.

Par ailleurs, le Royaume de Belgique est membre du Sommet de la Francophonie. La Lituanie, la Pologne, la République Tchèque et la Slovaquie y sont observateurs.

Agence intergouvernementale de la Francophonie
13 Quai André Citroën - 75 015 Paris, Tél : (33) 1 44 37 33 00 - Télécopie : (33) 1 45 79 14 98
Site web : <http://agence.francophonie.org>

La Francophonie au service du développement durable

L'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), organe subsidiaire de l'Agence intergouvernementale de la Francophonie, est né en 1988 de la volonté des chefs d'État et de gouvernement des pays francophones de conduire une action concertée visant le développement du secteur de l'énergie dans les pays membres. En 1996 cette action a été élargie à l'Environnement.

Basé à Québec, l'Institut a aujourd'hui pour mission de contribuer au renforcement des capacités nationales et au développement de partenariats dans les domaines de l'énergie et de l'environnement.

Meilleure gestion et utilisation des ressources énergétiques, intégration de l'environnement dans les politiques nationales dans une perspective durable et équitable, tels sont les buts des interventions spécifiques de l'IEPF – formation, information, actions de terrain et concertation – menées en synergie avec les autres programmes de l'Agence Intergouvernementale de la Francophonie et notamment ceux issus du chantier « Une francophonie solidaire pour soutenir les efforts du développement ».

La programmation mise en œuvre par l'équipe des collaborateurs de l'IEPF s'exprime dans 7 projets qui fondent ses activités.

- **Politiques énergétiques**
- **Énergie rurale**
- **Maîtrise de l'énergie**
- **Diffusion des outils méthodologiques de maîtrise de l'environnement**
- **Appui à la mise en œuvre des conventions internationales**
- **Prospectives**
- **Information pour le développement durable**

Adresse : 56, rue Saint-Pierre, 3e étage, Québec (Qué.) G1K 4A1 Canada
Téléphone : (1 418) 692 5727 Télécopie : (1 418) 692 5644
Courriel : iepf@iepf.org
Site web : <http://www.iepf.org>

L'énergie électrique est précieuse dans les centres urbains des Pays du Sud. Il est donc primordial de ne pas la gaspiller lors de la climatisation des immeubles tertiaires.

Ce guide constitue une première réflexion sur la mise en œuvre

- d'une conception des équipements adaptée aux besoins des pays tropicaux
- d'une exploitation soucieuse d'une utilisation rationnelle de l'énergie.

Par ailleurs, ce guide s'inscrit dans un projet plus global qui vise à :

- préparer le contenu de programmes de formation continue,
- fournir des outils concrets aux acteurs de terrain, prescripteurs et techniciens,
- jeter les bases d'une réglementation thermique minimale.

En voici la table des matières :

Tome I : conception des nouveaux bâtiments

- 1 Une méthode de calcul simplifiée du bilan thermique de climatisation en climat tropical
- 2 L'évaluation des coûts globaux d'exploitation
- 3 Le choix des systèmes de climatisation : critères généraux
- 4 Le choix d'un climatiseur de local
- 5 Le choix d'une climatisation centralisée
- 6 La conception thermique des bâtiments climatisés : critères de performance

Tome II : exploitation des installations existantes

- 1 Le diagnostic global d'une installation de climatisation
- 2 L'amélioration d'un climatiseur
- 3 L'amélioration d'une installation de climatisation centralisée
- 4 L'amélioration de la machine frigorifique associée
- 5 Un contrat de maintenance avec clause « énergie »
- 6 Vers une réglementation thermique minimale de l'exploitation des bâtiments et des systèmes

