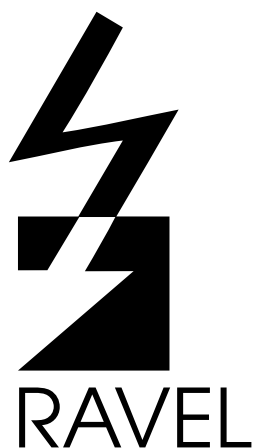


# Exploitation des installations de chauffage, de ventilation et de climatisation



## **Exploitation des installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)**

La plupart des installations CVC ne fonctionnent pas comme elles le devraient. Cette lacune est souvent présente dès la mise en service de l'installation et est principalement due aux phénomènes suivants:

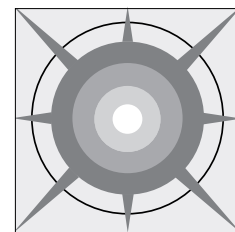
- contrôles insuffisants lors de la mise en service;
- pas de contrôle dynamique du fonctionnement;
- réception des installations pas suffisamment approfondie;
- dégradation des installations au cours du temps;
- modification des besoins au cours du temps, sans adaptation de la prestation;
- absence de contrôles périodiques de performances;
- mauvaise gestion des prestations convenues dans le contrat d'entretien.

Même pour le peu d'installations qui fonctionnent correctement, la prestation fournie est encore en général trop généreuse par rapport à la demande réelle. Il y a donc là aussi encore un potentiel d'économie important.

Le manuel traite essentiellement de la problématique liée à l'exploitation des grandes installations CVC, il n'est pas utile à celui qui doit gérer un simple immeuble locatif ou une villa.

Le présent document et le cours qui lui est lié ont quatre buts principaux:

- améliorer l'état des installations au moment où, neuves, elles sont remises pour la première fois à l'exploitant, en précisant ce qu'il faudrait exiger lors de la mise en service et lors de la réception;
- transfert de connaissances pour l'exploitant, afin qu'il soit mieux à même de réagir de façon critique face aux paramètres de fonctionnement de son installation;
- motiver les entreprises de maintenance pour qu'elles ne se contentent plus de contrôler seulement l'intégrité des installations, mais aussi leurs performances;
- motiver les exploitants à essayer des modifications de réglage.



# **Exploitation des installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)**



Programme d'impulsions RAVEL  
Office fédéral des questions conjoncturelles



### **Associations de soutien**

ASCV

Association suisse des entreprises de chauffage et de ventilation

Astech

Association des techniciens en chauffage, climatisation et froid

SBHI

Ingénieurs-conseils suisses de la technique du bâtiment et de l'énergie

SIA

Société suisse des ingénieurs et des architectes

SICC

Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation

### **Direction du projet**

Christophe Brunner, E+B Concept

1113 St-Saphorin-s/Morges

### **Auteurs**

Christophe Brunner, E+B Concept

1113 St-Saphorin-s/Morges

Jean-Luc Chevalier, Banque Cantonale Vaudoise

Lausanne

Patrick Gaberell, Nordvent SA

1401 Yverdon-les-Bains

Hans-Peter Glanzmann, Office des constructions fédérales

Berne

### **Préparation du projet**

- Daniel Grau, Office des constructions fédérales, Berne
- Ernst Ursenbacher, Office des constructions fédérales, Berne
- Charles Weinmann, Weinmann-Energies SA, 1040 Echallens
- Kurt Zoss, Office des constructions fédérales, Berne
- Enrique Zurita, Weinmann-Energies SA, 1040 Echallens

### **Mise en page et photocomposition**

DAC, 1006 Lausanne

City Comp SA, 1110 Morges

ISBN 3-905251-27-2

Copyright © Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, octobre 1996.  
Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source. Diffusion : Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne (N° de commande 724.309 f).

Form. 724.309 f 10.96 500 XXXXXXXX



# Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action « Construction et Energie » se compose des trois programmes d'impulsions suivants :

PI BAT – Entretien et rénovation des constructions

RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité

PACER – Energies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Leur objectif est de favoriser une croissance économique qualitative. Celle-ci est caractérisée par une moindre utilisation de matières premières et d'énergies non renouvelables, ainsi que par des charges pour l'environnement réduites. En revanche, elle fait appel à un plus grand capital de savoir-faire.

Le programme RAVEL cherche principalement à améliorer la compétence des professionnels pour l'utilisation rationnelle de l'énergie électrique. Outre les aspects de la sécurité et de la production qui étaient jusqu'ici prioritaires, il est aujourd'hui indispensable de s'intéresser davantage aux rendements. RAVEL a établi un tableau des consommations qui définit dans leurs grandes lignes les thèmes à traiter. Les procédés utilisés dans l'industrie, le commerce et le secteur tertiaire doivent être considérés parallèlement aux utilisations de l'électricité dans les bâtiments. Dans ce contexte, les groupes-cibles sont les spécialistes de tous les niveaux de formation et les décideurs responsables des processus et des investissements liés à l'électricité.

## **Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.**

Les objectifs de RAVEL sont poursuivis par des projets de recherche visant à élargir les connaissances de base, par des cycles de formation et de perfectionnement, ainsi que par le biais de l'information. La transmission des nouvelles connaissances est axée sur une utilisation dans la pratique quotidienne. Elle repose principalement sur des publications, des cours et des manifestations. Des journées d'information annuelles RAVEL consacrées chaque fois à un thème particulier permettent de présenter et de discuter les nouveaux résultats, développements et tendances de cette discipline encore jeune mais déjà fascinante qu'est l'utilisation rationnelle de l'électricité. Les personnes intéressées trouveront dans le bulletin « Construction et Energie » de plus amples informations sur le vaste éventail des possibilités de perfectionnement destinées aux différents groupes-cibles. Ce bulletin paraît trois à quatre fois par an et peut être obtenu gratuitement auprès de la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne. En outre, chaque participant à un cours ou autre manifestation du programme reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues directement auprès de la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

## **Compétences**

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des différents domaines concernés. Ceux-ci appartiennent au



secteur privé, aux écoles, et aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission comprenant également des représentants des associations, des écoles et des secteurs professionnels concernés. Cette commission définit le contenu du programme et assure la coordination avec les autres activités visant à l'utilisation rationnelle de l'électricité. Ce sont les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des manifestations d'information. La préparation de ces activités est assurée par une direction de projet composée de MM. Werner Böhi, Dr Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans Rudolf Gabathuler, Ruedi Messmer, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dr Daniel Spreng, Felix Walter, Dr Charles Weinmann, Georg Züblin et Eric Mosimann. La réalisation concrète de ces activités est confiée à des groupes de travail responsables de tâches spécifiques (projets de recherche ou de mise en pratique) bien définies sur le plan du contenu, du calendrier et des coûts.

### **Documentation**

La présente documentation traite des principaux aspects liés à l'exploitation des grandes installations existantes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC). Les auteurs ont également attaché beaucoup d'importance à présenter les dernières connaissances et les nouveaux développements en la matière.

Le présent document a fait l'objet d'une procédure de consultation; il a également été soumis à l'appréciation des participants lors d'un cours pilote, ce qui a permis aux auteurs d'effectuer les corrections nécessaires. Ceux-ci ont toutefois gardé leur liberté d'appréciation pour les questions où les avis divergeaient. Ils assument donc aussi la responsabilité de leurs textes. Des améliorations sont encore possibles et des suggestions éventuelles peuvent être adressées soit à l'Office fédéral des questions conjoncturelles, soit au directeur de projet responsable (voir page 2).

Office fédéral des questions conjoncturelles  
Service de la technologie  
Dr B. Hotz-Hart  
Vice-directeur



# Vue d'ensemble du contenu

<b>1. Contenu et but de la documentation</b>	<b>7</b>
1.1 Cette documentation n'est pas un manuel du « Comment dimensionner une nouvelle installation »	7
1.2 Contenu	7
1.3 But de la documentation	8
1.4 Comment utiliser cette documentation	8
<b>2. Démarche de l'optimisation</b>	<b>9</b>
2.1 Stratégie générale	9
2.2 Comment apprivoiser une installation	10
2.3 Les questions qu'il faut se poser devant toute installation	11
2.4 Listes d'entretien déjà préparées	12
<b>3. Ventilation</b>	<b>13</b>
3.1 Ventilation: les bases	13
3.2 Le débit d'air, quel est le bon débit	15
3.3 Les pertes de charge	17
3.4 Le rendement	20
3.5 La transmission	24
3.6 Le temps de fonctionnement	27
3.7 L'humidification	29
3.8 La filtration de l'air	31
3.9 Les batteries d'échange de chaleur	37
3.10 Récupération de chaleur	39
3.11 Les signes de mauvais fonctionnement en ventilation	40
3.12 Exemples	43
<b>4. L'air comprimé</b>	<b>45</b>
4.1 Les points les plus importants concernant l'air comprimé	45
4.2 Surconsommation en cas de compression trop élevée	46
4.3 Air comprimé pour installations de régulation	46
4.4 Pour vérifier votre installation d'air comprimé	46
4.5 Combien coûtent les fuites	46
<b>5. Le froid</b>	<b>47</b>
5.1 Production de froid	47
5.2 Distribution de froid	49
5.3 Pour diminuer la consommation de froid	50
<b>6. Chauffage</b>	<b>52</b>
6.1 Introduction	52
6.2 Les signes de mauvais fonctionnement en chauffage	52
<b>7. L'eau chaude sanitaire</b>	<b>56</b>
7.1 Les pertes par rayonnement du stock	56
7.2 Les pertes par circulation d'eau	56
7.3 L'eau chaude réellement utilisée	56



<b>8. Electricité</b>	<b>57</b>
8.1 Généralités	57
8.2 Installations techniques du bâtiment	57
8.3 Horloges	58
8.4 Eclairage	61
8.5 Emploi d'appareils privés	61
8.6 Mise en pratique des recommandations	62
<b>9. Les mesures</b>	<b>63</b>
9.1 Les appareils de mesure	63
9.2 Que peut-on mesurer avec ces appareils, quelques exemples	64
9.3 Les sources de mesures toutes faites	66
<b>10. Mise en service et réception</b>	<b>68</b>
10.1 Avant-propos	68
10.2 Mise en service	68
10.3 Le dossier d'exploitation	70
10.4 La réception	72
<b>11. Contrats d'entretien</b>	<b>74</b>
11.1 Le contrat d'entretien	74
11.2 Que doit comprendre le contrat d'entretien	75
11.3 Comment contrôler les travaux effectués par l'entreprise de maintenance	77
<b>12. Comptabilité énergétique</b>	<b>80</b>
12.1 Quels relevés peut-on utiliser?	80
12.2 Les zones rouges	81
12.3 Tableaux de bord à créer	81
12.4 Avant de vous mettre à l'œuvre tenez compte des points suivants	82
12.5 Pour ceux qui veulent faire une comptabilité énergétique détaillée	82
<b>Bibliographie</b>	<b>83</b>
<b>Publications du programme d'impulsions RAVEL</b>	<b>89</b>





# 1. Contenu et but de la documentation

## 1.1 Cette documentation n'est pas un manuel du « Comment dimensionner une nouvelle installation »

Il s'adresse à tous ceux qui possèdent une installation existante et qui désirent faire au mieux, mais « avec ».

Lorsqu'on exploite une installation existante, il est souvent nécessaire de faire des compromis qu'on peut éviter lors du dimensionnement d'une nouvelle installation ou lors du changement de l'installation. C'est pourquoi certains conseils ou « trucs et astuces » proposés ci-après n'ont de validité que tant qu'on doit faire « avec ».

Le présent document n'a pas non plus la prétention de traiter toute la problématique de l'exploitation des installations CVC – il vise à informer le lecteur des possibilités qu'il y a à économiser l'énergie dans le cadre de son travail de tous les jours.

## 1.2 Contenu

Comme vous pourrez le constater rapidement au vu du volume des différents chapitres, la documentation a l'air à priori déséquilibrée, certains chapitres n'étant traités que très succinctement.

Nous avons volontairement retenu cette approche pour plusieurs raisons:

- Le centre de gravité de Ravel étant l'électricité, nous avons avant tout insisté sur la consommation électrique des installations CVC. ◀■■■■
- La partie ventilation est très développée, car tant l'offre en cours qu'en documentation aisément accessible est très faible, au contraire du chauffage où elle est surabondante. ◀■■■■
- Les installations de ventilation – climatisation sont connues pour être gourmandes tant en électricité qu'en énergie thermique. Paradoxalement, très peu a été fait pour diminuer la consommation électrique des installations existantes. ◀■■■■
- Comme l'exploitant d'une installation CVC est souvent également confronté à d'autres problèmes annexes – mais qui font quand même partie de son travail – nous avons très succinctement remis les points essentiels en matière d'air comprimé d'installations sanitaires et d'installations électriques autres que CVC. ◀■■■■
- Nous avons également remis les points les plus importants concernant la mise en service et la réception, car c'est là que commence la bonne ou la mauvaise mise en exploitation d'une installation. ◀■■■■



## 1. Contenu et but de la documentation

- L'exploitation étant étroitement liée aux contrats d'entretien, nous avons également essayé de clarifier les aspects principaux de ce sujet.
- Enfin, il n'y a pas d'exploitation sans comptabilité énergétique. Le sujet se limite ici à l'idée d'un tableau de bord avec zone rouge, Ravel offrant des cours spécifiques pour la comptabilité plus poussée.

### 1.3 But de la documentation

Elle pour but d'offrir un support, aisément accessible, dans un langage simple, pour guider l'exploitant dans sa recherche quotidienne de l'économie d'énergie quel que soit le vecteur d'énergie.

### 1.4 Comment utiliser cette documentation

Au début de la documentation, la table générale des matières offre la vue d'ensemble sur les thèmes abordés.

Les chapitres sont à utiliser comme outil de référence et non comme un manuel qui vous expliquera tout sur tout en matière d'exploitation d'installations CVC.

Dans les chapitres traités volontairement succinctement, le lecteur trouvera dans la bibliographie toutes les références nécessaires pour approfondir un point ou l'autre.

Vous trouverez à la fin de la documentation une bibliographie subdivisée en fonction des chapitres de la documentation.



## 2. Démarche de l'optimisation

### 2.1 Stratégie générale

#### Il y a toujours quelque chose à améliorer



- Dans l'immense majorité des cas on peut diminuer la consommation d'énergie de façon importante, sans porter atteinte au confort =>
- En général le confort s'en trouve même amélioré !!
- Les premières économies ne coûtent en général que très peu ou pas d'argent!, seulement un peu de temps et un solide bon sens !
- Posez-vous toujours en premier la question des besoins !

#### Il faut oser essayer



- Rien ne vous empêche de faire un essai de courte durée pour tester une nouvelle stratégie de fonctionnement ! (cet essai ne va pas mettre en péril votre installation).
- A l'époque, la plupart des sources d'économies majeures étaient découvertes de façon fortuite (par exemple à la suite d'une panne ou d'une transformation). Aujourd'hui, il faut débusquer ce potentiel d'amélioration de façon systématique =>
- Remettez en question les réglages actuels (points de consignes, heures de fonctionnement).
- Faites ces essais en accord avec les exploitants, mais si possible sans informer les utilisateurs au préalable.

#### Remplacement des installations



- Toute installation doit être remplacée à un moment ou à un autre.
- Au moment du remplacement, il faut mettre un nouvel équipement, plus performant, moins énergivore =>

et qui se révèle souvent moins cher que le simple remplacement par un équipement identique à l'ancien (car le nouvel équipement est presque toujours plus petit).

- Vous devez donc, au cours de la vie de l'installation, relever ses paramètres de fonctionnement afin de déterminer à l'avance les vraies valeurs de fonctionnement qui permettront au fournisseur de déterminer l'équipement de remplacement.



## 2.2 Comment apprivoiser une installation



**Pour apprivoiser une installation, il faut prendre le temps de la sentir vivre.**



**Il faut donc l'observer souvent et à différentes périodes**

- au démarrage;
- pendant la phase d'arrêt;
- pendant les phases de transition, montée ou descente en régime;
- pendant la marche à régime constant;
- pendant l'arrêt.

**et aussi à différentes saisons**

- en hiver;
- en été;
- en entre-saison de printemps;
- en entre-saison d'automne.



**Pour bien saisir son fonctionnement, il faut**

- regarder;
- écouter;
- sentir;
- toucher;
- mesurer.

***L'installation vit... même lorsque elle est arrêtée.***



**Pour améliorer une installation, il est indispensable de bien connaître son fonctionnement.**



## 2.3 Les questions qu'il faut se poser devant toute installation

### Est-ce que je connais mon installation ?



- **Y a-t-il des schémas de principe ?**  
(C'est un élément absolument indispensable pour comprendre le fonctionnement de l'installation.)
- **Y a-t-il des instructions de service et de révision ?**
- **Est-ce que j'ai apprivoisé mon installation ?**  
(Voir 2.2)

### La prestation réalisée par l'installation est-elle :



- **Adaptée aux besoins ?**  
(C'est là que réside le potentiel d'économie le plus grand.)
- **Juste en quantité ?**  
(Par exemple débit d'air.)
- **Juste en durée de fonctionnement ?**  
(Premier facteur sur lequel l'exploitant peut agir.)
- **La consommation d'énergie est-elle dans les normes ?**  
(Par exemple SIA 380/4.)

### Les appareils mis en œuvre pour satisfaire la prestation sont-ils



- **de bonne qualité ?**
- **en bon état ?**
- **pourvus d'un bon rendement ?**



## 2.4 Listes d'entretien déjà préparées

Un certain nombre d'organisations proposent des listes d'entretien déjà toutes faites qu'on peut intégrer telles quelles dans les contrats d'entretien:

### **Eurovent 6/7**

#### ***Guide pour l'entretien des installations de traitement d'air***

Ce guide propose, en 4 langues – anglais – français – italien – allemand – une liste très complète de tous les points d'entretien à exécuter.

Ce guide ne traite que des installations de ventilation – climatisation et froid. Il ne traite pas de l'entretien des installations de chauffage.

Il peut être commandé auprès de:  
Secrétariat général Eurovent  
Fabrimetal  
Rue des Drapiers 21  
1050 Bruxelles  
Belgique

Il coûte environ 50 francs suisses.

### **Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, VDMA 24186**

Partie 1: Installations de ventilation et climatisation

Partie 2: Installations de chauffage

Partie 3: Installations frigorifiques

Ces documents n'existent malheureusement qu'en allemand. Il est prévu (c'est peut-être fait?) de les transformer en norme DIN.

Commande auprès de:  
Beuth Verlag  
Berlin

Prix: inconnu



## 3. Ventilation

### 3.1 Ventilation : les bases

#### Puissance utile ou aérolique



C'est ce que le ventilateur produit sous forme de débit et de pression et qu'on peut en fin de compte utiliser pour faire avancer l'air dans le réseau de gaines de l'installation. Elle s'exprime comme suit :

$$P_{\text{aérolique}} = V \times \Delta p$$

$P_{\text{aérolique}}$  = ce que produit le ventilateur sous forme de débit et de  $\Delta p$  [W]  
 $V$  = volume d'air transporté par le ventilateur [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $\Delta p$  = pression créée par le ventilateur [Pa] (somme pour pulsion, aspiration + récupération de chaleur).  $\Delta p$  est difficile à mesurer directement. En pratique, on utilise la mesure du débit + la vitesse de rotation du ventilateur et à l'aide de la courbe du ventilateur on retrouve  $\Delta p$  (à faire séparément pour le ventilateur de pulsion et celui d'extraction).



#### Puissance électrique absorbée au réseau



La puissance électrique absorbée s'écrit :

$$P_{\text{électr. absorbée}} = P_{\text{aérolique}} / \eta_{\text{syst}} = V \times \Delta p / \eta_{\text{syst}}$$

$P_{\text{électr. absorbée}}$  = puissance tirée au réseau électr. [W]  
 $\eta_{\text{syst}}$  = rendement du système [-]  
 ( $\eta_{\text{syst}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \dots$ ,  $\eta_i$  = rendement de l'élément  $i$  du système)



#### Energie électrique annuelle



L'énergie électrique annuelle s'écrit :

$$P_{\text{électr. absorbée}} \times \text{Heures/an} = \text{Energie él./an}$$

$P_{\text{électr. absorbée}}$  = puissance tirée au réseau électrique [W]  
 Heures/an = nombre d'heures de fonctionnement par an [h/a]  
 Energie él./an = énergie électrique consommée par an [Wh/a]



#### Règles principales de fonctionnement (à rendement constant)



$V$  = débit d'air  
 $P$  = puissance électrique

$V_1$  = débit d'air actuel  
 $P_1$  = puissance électrique absorbée actuelle

$V_2$  = débit futur  
 $P_2$  = puissance électrique absorbée future



### 3. Ventilation

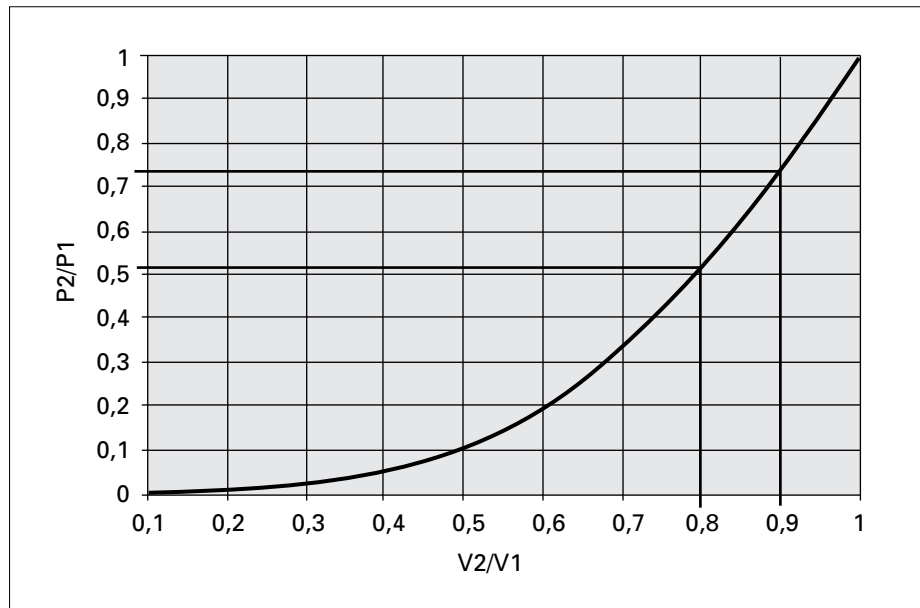


Figure 3.1:  
Variation de puissance  
lorsqu'on diminue le débit.



**Réduire de 20 % le débit d'air économise  
environ 50 % de la puissance électrique.**

**Réduire de 10 % le débit d'air économise  
environ 25 % de la puissance électrique.**

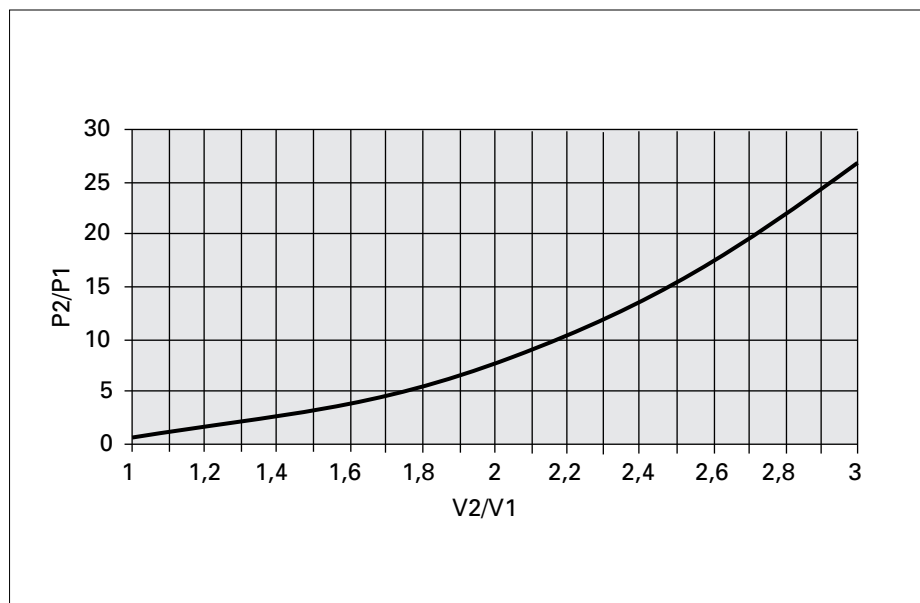


Figure 3.2:  
Variation de puissance  
lorsqu'on augmente le débit.





## 3.2 Le débit d'air, quel est le bon débit

### Principe



Dans la plupart des anciennes installations, la ventilation transporte non seulement l'air hygiénique nécessaire, mais aussi le chaud, le froid, l'humidification ou la déshumidification, ce qui a pour conséquence d'augmenter souvent massivement le débit d'air.

Aujourd'hui on cherche systématiquement à séparer ces fonctions :

- transport de la quantité d'air hygiénique ;
- transport du chaud ;
- transport du froid ;
- transport de l'humidification/déshumidification.

Ainsi les nouvelles installations de ventilation n'assurent que la fonction de remplacement de l'air hygiénique, les autres fonctions étant en général assurées par des installations séparées.

Même dans les anciennes installations de ventilation qui n'assuraient que l'apport d'air hygiénique, les débits d'air sont encore souvent trop importants, la réduction du débit est donc là aussi possible, ne serait-ce que déjà de 10 ou 20%.

La réduction du débit a les avantages suivants :

- diminution du bruit ;
- diminution de la consommation électrique pour les ventilations ;
- diminution de l'énergie thermique ou frigorifique ;
- réduction de l'usure des équipements.

### Le débit d'air hygiénique pour les personnes



Selon SIA V382/1 :

Non fumeurs : 25-30 m<sup>3</sup>/h/personne (= base générale pour non fumeurs)

Fumeurs : 30-70 m<sup>3</sup>/h/personne

Le canton de Vaud prévoit pour les locaux de travail non ventilables naturellement :

Non fumeurs : 25 m<sup>3</sup>/h/personne

Fumeurs : 40 m<sup>3</sup>/h/personne

Type de local	Fumée	Débit d'air recommandé par personne v (m <sup>3</sup> /h p)	
Ecoles (pour autant qu'il faille les ventiler mécaniquement)	interdite	12 à 15	(0,15% CO <sub>2</sub> )
Bureaux	interdite	25 à 30	(0,10% CO <sub>2</sub> )
Bureaux, bureaux-paysages	autorisée	30 à 70	
Magasins, surfaces de vente	interdite	12 à 15	(0,15% CO <sub>2</sub> )
Théâtres et salles de concert	interdite	25 à 30	(0,10% CO <sub>2</sub> )
Chambres d'hôtels	autorisée	30 à 70	
Salles de conférences	autorisée	30 à 70	
Restaurants	autorisée	40 à 50*	
Chambres d'hôpital	interdite	20 à 50*	

\* à compléter par prescriptions cantonales, communales ou spéciales.

Tableau 3.3:  
Débit d'air hygiénique recommandé selon manuel Ravel.



#### ▣▣▣▣ ➔ **Débit d'air dans les autres installations**

Dans les autres installations, le débit d'air est plus délicat à déterminer. D'une manière générale, on a aujourd'hui tendance à ventiler avec des débits plus faibles, même s'il faut pour cela augmenter le temps de fonctionnement.

Vous trouverez une partie des réponses dans le chapitre sur les exemples de ventilation, plus loin dans ce document.

#### ▣▣▣▣ ➔ **Trucs et astuces pour réduire les débits d'air**

Pour réduire les débits d'air on peut souvent à l'aide de trucs simples obtenir de bon résultats :

- Confiner les zones à ventiler, parce qu'il y a des dégagements d'odeurs, de chaleur (vapeur de fer à repasser, grills, etc.). Rendre ces zones aussi petites que possible. Idem par exemple pour des locaux à photocopieurs, ordinateurs.
- Couvrir les bacs qui sentent ou qui dégagent des vapeurs (bains de galvanoplastie, fosses à boues des steps).
- Aspirer à la source, avec hotte (si possible fermée sur les 3 côtés) ou avec un entonnoir mobile (soudure). Attention : en aspiration la vitesse de captation décroît très rapidement lorsqu'on s'éloigne de la bouche d'aspiration, typiquement à une distance de 1 x le  $\varnothing$  de la bouche, la vitesse de captation est déjà réduite de 90%. Ce n'est qu'avec des bouches de pulsion qu'on peut contrôler la portée et la forme du jet d'air sur de grandes distances, mais cela a le défaut de tout mélanger et oblige ensuite à aspirer des grandes quantités d'air.
- Sondes de présences pour l'enclenchement et le déclenchement de la ventilation de locaux peu utilisés.
- Débit variable en fonction de sondes de qualité d'air, CO<sub>2</sub>, CO.



### 3.3 Les pertes de charges

#### Principe

Les pertes de charges ( $\Delta p$  en Pascals [Pa]) sont les pertes par frottement et par chocs que subit l'air quand il circule dans les canaux.

Comme on l'a vu au début, la puissance électrique est directement influencée par le  $\Delta p$ , puisque  $P_{\text{électrique}} = \text{Volume transporté} \times \Delta p / \text{rendement syst.}$

Le  $\Delta p$  est aussi très fortement influencé par le débit d'air transporté, car, pour une installation donnée, si on varie le débit sans rien changer d'autre, le  $\Delta p$  varie avec le carré de la variation de débit:

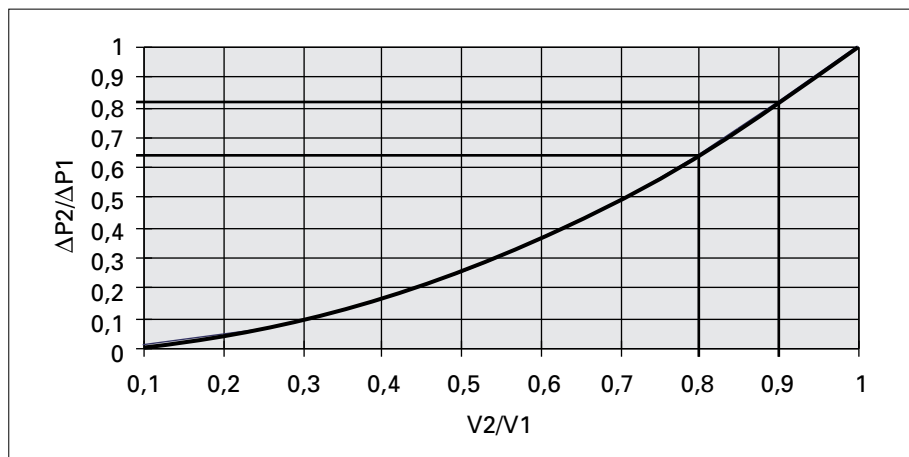


Figure 3.4:  
Variation de la pression  
lorsqu'on diminue le débit.

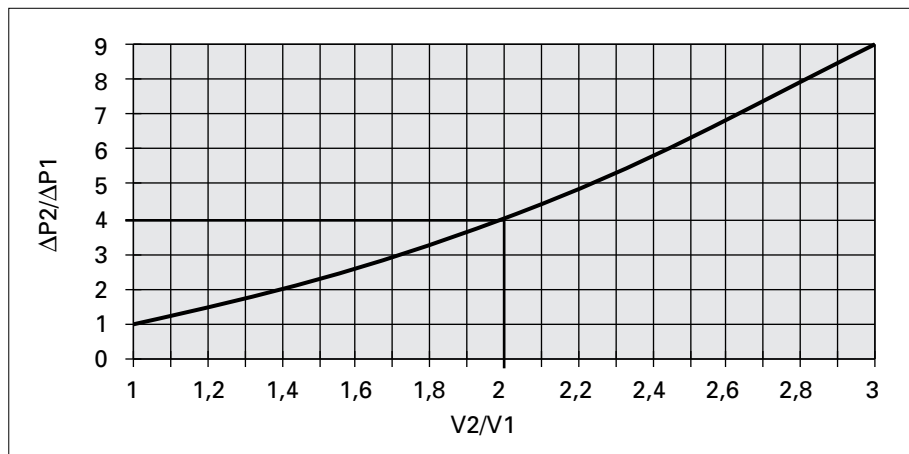


Figure 3.5:  
Variation de la pression  
lorsqu'on augmente le débit.

#### Limites de la perte de charge

Selon SIA V382/3:

- pour toutes les nouvelles installations: 1200 Pa =  $\Delta p$  système;
- pour des installations énergétiquement très performantes: 900 Pa;
- $\Delta p$  système =  $\Delta p$  pulsion +  $\Delta p$  aspiration +  $\Delta p$  récupération de chaleur.

Dans les installations existantes, le  $\Delta p$  système est beaucoup plus élevé, typiquement entre 1500 et 2000 Pa. Là aussi, une réduction de débit d'air de 20% permettrait déjà de descendre de 2000 Pa à 1280 Pa.



### 3. Ventilation

Composant	Perte de charge [Pa]	
	standard	optimisé
Vitesse de l'air (sur la section nette du bloc)	2,5 m/s	2,0 m/s
Grille pare-pluie	40	25
Clapet: ouvert fermé de 30%	1 30	1 20
Batterie de chaud: 1 rangée 2 rangées 3 rangées	25 45 65	15 30 40
Batterie de froid: 2 rangées 4 rangées 6 rangées	50 85 120	35 60 90
Séparateur de gouttelettes	20	—
Filtres	voir chapitre filtres	
Récupérateurs de chaleur à plaques	180	120
Récupérateurs de chaleur rotatifs	130 (2 m/s)	95 (1,5 m/s)
A batteries	voir sous batteries froid	
Humidificateurs (y compris séparateur gouttelettes): à vapeur laveur d'air ultrasons à évaporation	— 85 — 70	— 55 — 45
Amortisseurs de bruit	20	—

Tableau 3.6:  
Pertes de charges  
recommandées dans les  
monoblocs (selon Manuel  
RAVEL chapitre 5.4).



#### Perte de charge dans les gaines d'air



Dans les gaines d'air, la perte de charge linéaire par frottement (donc dans les bouts droits) varie, pour un débit constant, avec la cinquième puissance du diamètre de la gaine utilisée.

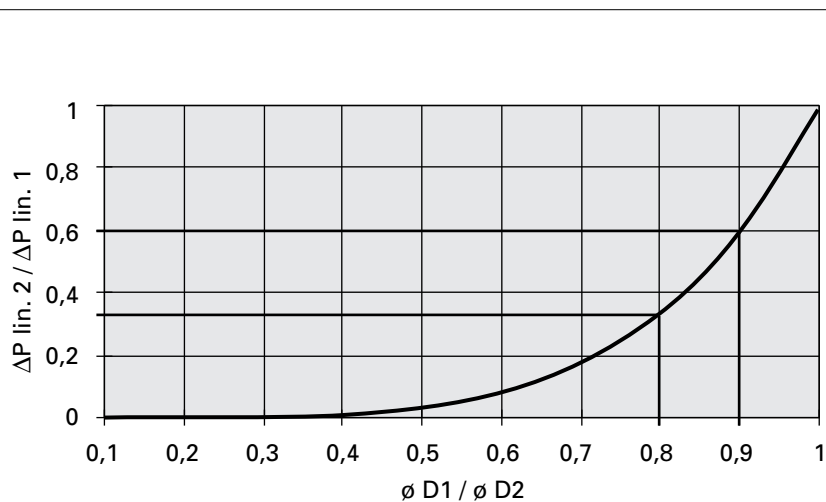


Figure 3.7:  
Pertes de charges linéaires  
lorsqu'on augmente le  
diamètre, à débit constant.



### Exemple :

- Je fais passer 4000 m<sup>3</sup>/h dans une gaine de  $\varnothing$  500 mm =>  $\Delta p \sim 0,7$  Pa/m
- Je fais passer 4000 m<sup>3</sup>/h dans une gaine de  $\varnothing$  400 mm =>  $\Delta p \sim 2,1$  Pa/m
- $(500/400)^5 = 3,05 \Rightarrow 0,7 \text{ Pa/m} \times 3,05 = \text{bien} \sim 2,1 \text{ Pa/m} \Rightarrow$
- **il faut donc toujours préférer le  $\varnothing$  plus grand.**

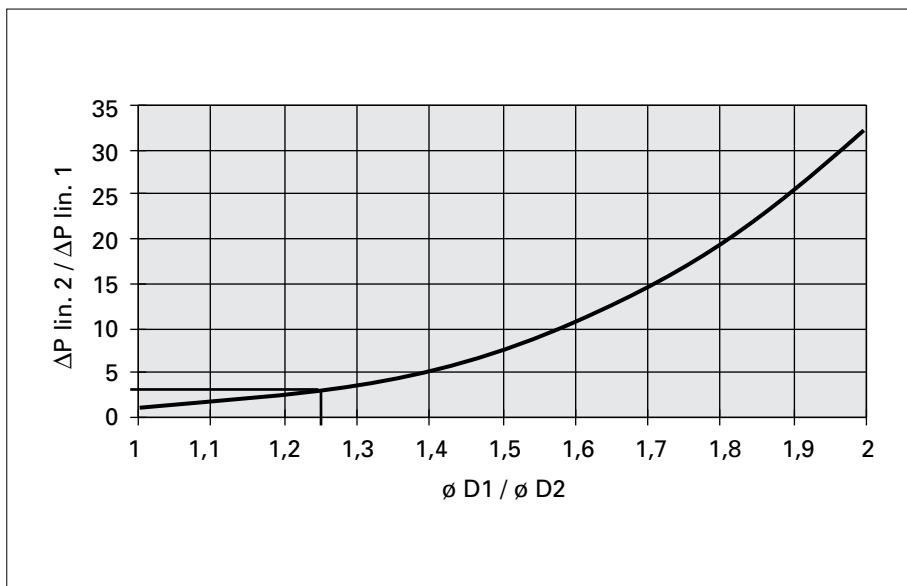


Figure 3.8:  
Pertes de charges linéaires  
lorsqu'on diminue le diamètre,  
à débit constant.

La **perte de charge dans les coudes**, T, les pièces de forme, etc. varie en fonction du carré de la vitesse de l'air. Ainsi si on double la vitesse dans un coude donné, la perte de charge de cet élément est multipliée par 4.



**Pour diminuer les pertes de charge, on a aujourd'hui tendance à réduire les vitesses d'air, ce qu'on peut également facilement faire avec une ancienne installation, en diminuant son débit, puisqu'il est presque toujours surdimensionné.**



### Encrassement des gaines d'air

L'encrassement des gaines, grilles, filtres au cours du temps augmente la perte du charge du réseau, ce qui crée une diminution du débit d'air transporté. Cette double variation liée – augmentation  $\Delta p$  et diminution du débit – a pour conséquence une diminution de la consommation électrique et non une augmentation comme on pourrait le croire au premier abord. La règle ci-dessus est vraie pour tous les ventilateurs radiaux, à l'exception de certains ventilateurs axiaux (mais qui sont peu utilisés).





### 3. Ventilation

#### ▣▣▣▣▣ ► **Pression créée par le ventilateur**

La pression créée par le ventilateur est en quelque sorte « l'antidote » des pertes de charges.

La pression créée par le ventilateur compense exactement les pertes de charges (statiques et dynamiques du réseau).

Si les pertes de charge augmentent, la pression délivrée par le ventilateur augmente, en contre-partie le débit diminue.

Si les pertes de charge diminuent, c'est l'inverse qui se produit.

#### ▣▣▣▣▣ ► **Mesure du $\Delta p$ ventilateur**

Comme on l'a déjà vu, il est très difficile, et surtout imprécis, de mesurer la pression créée par le ventilateur, car au refoulement du ventilateur le flux d'air est très perturbé du fait du brassage de la turbine, ce qui rend la mesure peu fiable et souvent même aléatoire. Il faut donc, comme on l'a vu, mesurer le débit et la vitesse de rotation, puis à l'aide de la courbe du ventilateur retrouver la pression totale réelle.

#### ▣▣▣▣▣ ► **Le $\Delta p$ ventilateur, comme outil de contrôle**

Malgré son imprécision, on peut utiliser le  $\Delta p$  ventilateur comme outil de contrôle.

En effet :

Le  $\Delta p$  ventilateur mesuré – même s'il est faux en valeur absolue – est quand même en étroite corrélation avec le débit qui transite à travers le ventilateur au moment de la mesure de  $\Delta p$ . Ainsi, si par la suite on contrôle le  $\Delta p$  et que celui-ci est différent, on sait que le débit d'air a changé :

- si le  $\Delta p$  est plus grand => le débit a diminué (par exemple encrassement du filtre) ;
- si le  $\Delta p$  est plus faible => le débit a augmenté.

Il est donc recommandé de noter dans quelle configuration de réseau on a mesuré le  $\Delta p$  (filtre propre, etc.).

## 3.4 Le rendement

#### ▣▣▣▣▣ ► **Principe**

Le rendement, c'est ce qu'il y a entre la puissance aérolitique et la puissance électrique absorbée. Le rendement caractérise les pertes de l'installation.

En ventilation :

$$P_{\text{aérolitique}} = V \times \Delta p$$

$P_{\text{aérolitique}}$  = ce que produit le ventilateur sous forme de débit et de  $\Delta p$  [W]

$V$  = volume d'air transporté par le ventilateur [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\Delta p$  = pression créée par le ventilateur [Pa]



$$P_{\text{aérolitique}} / P_{\text{électrique absorbée au réseau électrique}} = \text{rendement système [-]}$$

Le rendement système est le produit des rendements partiels de chaque composant, ainsi par exemple :

- ventilateur avec rendement : 65 %
- transmission à courroies avec rendement : 80 %
- moteur électrique avec rendement : 70 %
- rendement système =  $(65/100) \times (80/100) \times (70/100) = 36\%$



Rendement global du système moto-ventilateur	performant	très performant
> 15 000 m <sup>3</sup> /h	> 65 %	> 70 %
10 000 m <sup>3</sup> /h	> 60 %	> 65 %
5000 m <sup>3</sup> /h	> 55 %	> 60 %
2500 m <sup>3</sup> /h	> 52 %	> 57 %
< 2500 m <sup>3</sup> /h (dans ces débits, ces rendements sont très difficiles à atteindre)	< 50 %	< 55 %

Tableau 3.9:  
Les limites de rendement selon  
SIA V382/3.

Ces valeurs sont calculées en admettant que le ventilateur fonctionne à son point de rendement optimal.

### Règles générales pour le rendement

- Le rendement est fortement dépendant de la taille de l'équipement; on pourra atteindre de meilleurs rendements avec des gros ventilateurs, des grands moteurs et des transmissions de forte puissance, voir ci-après.

- Pour les ventilateurs, le rendement dépend bien entendu du point de fonctionnement réel dans le champ de performances.

- Pour le moteur, le rendement dépend bien entendu de la charge du moteur, le rendement maximum étant obtenu un peu en dessous de 100% de charge.

- Pour la transmission, le rendement dépend de la tension des courroies, de l'alignement, du diamètre des poulies, etc.





### 3. Ventilation

Composant	Rendement maximum possible
Turbinette de WC, $\eta$ système ventilateur + moteur	~ 5% max.
Ventilateur tubulaire de gaine, $\eta$ système ventilateur + moteur	~ 20% max.
Ventilateur de gaine, $\eta$ système ventilateur + moteur	~ 35% max.
Ventilateur de toiture, petit à moyen, $\eta$ système ventilateur + moteur	~ 20 - 35% max.
Ventilateur de toiture, grand, avec moteur à rotor intérieur, $\eta$ système ventilateur + moteur	~ 50% max.
Ventilateurs radiaux à aubes recourbées vers l'avant (à action), $\eta$ ventilateur seul => <b>ventilateur le plus fréquent</b>	<b>~ 50 - 70% suivant taille</b>
Ventilateurs radiaux à aubes recourbées vers l'arrière (à réaction), $\eta$ ventilateur seul	~ 75 - 83% max. suivant taille
Ventilateur axial de paroi ou de gaine, $\eta$ ventilateur seul	40 - 65%
Ventilateur axial performant avec enveloppe, sans distributeur ni redresseur, $\eta$ ventilateur seul	70 à 78%
Ventilateur axial performant avec enveloppe et redresseur ou distributeur, $\eta$ ventilateur seul	75 - 85%
Ventilateur axial contra-rotatif	80 - 90%
Transmission par courroies trapézoïdales: puissance transmise ~ 200 W puissance transmise ~ 500 W puissance transmise ~ 1000 W puissance transmise ~ 5000 W puissance transmise ~ 10 000 W puissance transmise ~ 30 000 W	77 - 90% 84 - 93% 87 - 94% 92 - 96% 92,5 - 96,5% 93,5 - 97%
Rendement de bons moteurs triphasés à cage d'écureuil, à charge et vitesse de rotation nominale (ABB type QU) 4 pôles: 0,25 kW 0,55 kW 1,1 kW 2,2 kW 5,5 kW 11 kW 22 kW  Moteurs idem à 2 bobines 4 - 6 pôles = 1500 - 1000 t/min 0,55 kW (4 pôles) - 0,18 kW (6 pôles) 2,2 kW (4 pôles) - 0,75 kW (6 pôles) 6,0 kW (4 pôles) - 2,0 kW (6 pôles) 18,0 kW (4 pôles) - 6,0 kW (6 pôles)	66% 73% 78% 81% 86% 87% 89,5%  70 et 58% 78 et 72% 86 et 77% 87 et 83,5%
Rendement convertisseurs de fréquence	~ 95%

Figure 3.10:  
Quelques rendements  
typiques.





### Comment déterminer le rendement du moteur



A l'aide des indications de la plaquette signalétique du moteur, vous pouvez déterminer le rendement nominal du moteur.

#### Exemple :

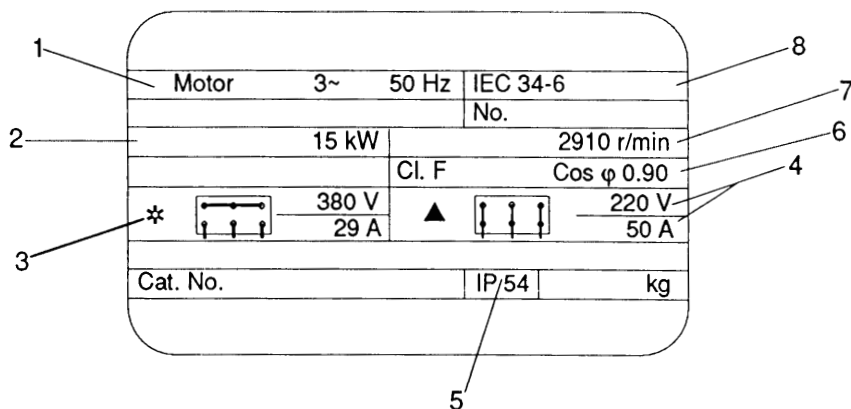


Figure 3.11:  
Exemple de fiche signalétique  
du moteur.

1. Moteur triphasé pour réseau 50 Hz
2. Puissance nominale du moteur = **puissance à l'arbre**  
(et non puissance absorbée au réseau électrique)
3. Tension et courant en couplage étoile
4. Tension et courant en couplage triangle
5. Degré de protection du moteur contre les agents extérieurs
6. Cosinus phi du moteur
7. Vitesse de rotation nominale (à charge nominale)
8. Type de refroidissement du moteur

#### Puissance absorbée du moteur =



$$\text{tension plaquette} \times \text{courant plaquette} \times \cos \phi \times \sqrt{3} \quad (\text{si triphasé}) =$$

$$380 \text{ V} \times 29 \text{ A} \times 0,90 \cos \phi \times \sqrt{3} = 17,18 \text{ kW}$$

#### Puissance plaquette =



puissance délivrée à l'arbre (voir N° 2)

#### Puissance plaquette/Puissance absorbée =



$$\text{rendement nominal du moteur (à vitesse et charge nominale)} =$$

$$15 \text{ kW} / 17,18 \text{ kW} = 0,87 \text{ [-]}$$

Ainsi, si le moteur délivre sa puissance nominale, il va tirer au réseau électrique une puissance plus élevée que la puissance à l'arbre, qui correspond à la puissance à l'arbre + la puissance nécessaire pour couvrir les pertes du moteur.

### Amélioration du rendement du ventilateur



Lorsque l'installation comporte un ventilateur radial à action (aubes recourbées vers l'avant), il est possible de remplacer la roue à action par une roue à réaction (aubes recourbées vers l'arrière) de meilleur rendement, de diamètre identique, dans la même volute.

Cette solution est particulièrement indiquée lorsqu'on peut encore diminuer un peu le débit d'air, ce qui rend la roue à réaction encore plus intéressante.



### 3.5 La transmission

Ne sont prises en compte ici que les transmissions par courroies. La transmission est un élément dont les performances dépendent très sensiblement de la surveillance du personnel d'entretien.

#### Surveillance de base des transmissions

Comme surveillance de base, il y a deux contrôles principaux que le personnel d'exploitation peut faire facilement et doit faire lui-même régulièrement, 3 à 4 fois/an :

##### Tension des courroies

- Une courroie trop tendue use rapidement les paliers et la courroie et augmente les pertes de la transmission. Le débit d'air n'augmente pas lorsque la courroie est trop tendue.
- Lorsque la courroie n'est pas assez tendue, les pertes de la transmission augmentent et le débit d'air transporté diminue, car la courroie patine. Il est possible qu'en fin de compte on ne consomme pas plus d'énergie électrique qu'avant, car la diminution de débit peut compenser l'augmentation des pertes de la transmission ; par contre il est sûr que la prestation réalisée par l'installation est diminuée du fait de la perte de débit d'air.

##### Usure des courroies

- L'usure des courroies augmente aussi les pertes par transmission et peut, le cas échéant, par patinage faire diminuer le débit d'air transporté.

##### Courroies neuves

**80% de tout l'allongement** que subit la courroie au cours de sa vie survient pendant les **15 à 20 premières heures** de fonctionnement !



#### Règles de bases pour les transmissions par courroies

- **Toujours veiller au bon alignement des poulies.**
- **Prendre des poulies aussi grandes que possible :**
  - Une grande poulie diminue l'usure de la courroie lorsqu'elle doit se tordre pour s'enrouler autour de la poulie.
  - Une grande poulie peut transmettre plus de force qu'une petite poulie.
  - Certains fabricants mettent des petites poulies, car elles sont meilleur marché.
- **Veiller à l'usure de la poulie :**
  - Avec le temps, la gorge est marquée par l'usure (création d'un décrochement sur les faces de gorges) ; son profil est donc modifié et elle doit être changée.



#### ■ Eviter les courroies multiples :

- Il vaut mieux moins de courroies avec des grandes poulies que des petites poulies avec plus de courroies.
- Dans les courroies multiples, il faut toujours changer tout le jeu de courroies en même temps et ne prendre que des jeux de courroies appariées. Malgré cela, elles n'ont jamais toujours la même tension, donc le même rendement, ce qui crée des pertes supplémentaires.
- Souvent, les fabricants prévoient des courroies multiples à cause de l'effort au démarrage. Avec les systèmes modernes de démarrage (convertisseurs) en douceur, on peut réduire le nombre de courroies.

#### ■ Section et type des courroies :

- Eviter les courroies de section trop faibles (SPZ), elles sont facilement surchargées et s'usent rapidement.
- Certains fabricants mettent des petites sections, car les courroies sont meilleur marché.
- Pour diminuer l'usure et la saleté dégagée par les courroies (poussière noire collante), il est possible d'utiliser des courroies trapézoïdales crantées, qui durent beaucoup plus longtemps (elles se plient mieux au moment de l'enroulement dans la poulie), mais qui sont bien évidemment plus chères, il s'agit des types XP... au lieu de SP...

#### ■ Poulies réglables :

- Les poulies réglables sont intéressantes, pour autant qu'on respecte les limites d'ouverture. Si on ouvre trop la poulie, la courroie n'appuie plus que sur le fond de la gorge, ce qui entraîne usure rapide, perte de rendement, patinage donc diminution du débit d'air.
- Une fois que la poulie réglable a permis de déterminer le bon débit, il faut la remplacer par une poulie fixe, ce qui diminue l'usure des courroies (avec la poulie réglable, la courroie s'enfonce dans la gorge au démarrage).

### Courroies plates

La mode de la courroie plate est très répandue. La courroie plate lisse a l'immense avantage de ne pas donner droit à l'erreur car, si elle est mal alignée, elle sort de son logement. Par contre la courroie trapézoïdale, même mal alignée fonctionne encore, bien entendu avec un mauvais rendement.

La courroie plate nécessite des châssis renforcés et des paliers plus résistants du fait de la tension de courroie élevée inhérente à ce système.

Selon une étude menée par le technicum de Windisch pour le compte de l'OCF (Office des constructions fédérales), le rendement des courroies plates – pour des ventilateurs usuels – n'est que de 1% meilleur par rapport à des courroies trapézoïdales **bien réglées**.

La durée de vie d'une courroie plate est excellente et bien supérieure à une courroie plate traditionnelle (non crantée).



#### La meilleure transmission

***La meilleure transmission est sans conteste la transmission directe car il n'y a pas de frais d'installation de poulies et courroies, pas de surveillance, pas de remplacement de courroies.***

Cela nécessite bien entendu un système de remplacement pour adapter la vitesse de rotation, comme un convertisseur de fréquence, ce qu'on verra de plus en plus, vu la démocratisation de ce genre d'appareil. Le convertisseur a l'avantage qu'à tout moment on peut régler une vitesse intermédiaire, le démarrage est doux, il permet directement une surveillance totale du moteur.

#### Rendement des transmissions

Voir le chapitre concernant les rendements. Les rendements indiqués ne concernent que les transmissions bien réglées. Il n'existe actuellement pas de littérature sur les pertes des transmissions en cas de mauvais réglage.

#### Comment détecter une transmission mal réglée

- Usure des poulies => la gorge de la poulie est marquée par la courroie.
- Sifflement au démarrage => courroie pas assez tendue ou courroie insuffisante pour la charge à transmettre.
- Battement de la courroie => tension insuffisante.
- Usure latérale des courroies => défaut d'alignement.
- Poussière noire autour de la transmission => usure anormale, qui provient essentiellement de défauts d'alignement.

#### Risque de rupture des courroies

Le risque principal de rupture des courroies se présente quand, en passant de la grande vitesse du moteur sur la petite vitesse, on ne respecte pas un temps de décélération suffisant, ce qui peut engendrer un à-coup suffisant pour arracher les courroies.



## 3.6 Le temps de fonctionnement

### Principe



Le contrôle du temps de fonctionnement est ce que l'exploitant peut gérer le plus facilement lui-même. Les interventions sont simples, les gains en énergie et usure du matériel souvent énormes.

Ne pas oublier que le temps de fonctionnement intervient directement dans la consommation annuelle comme multiplicateur de la puissance électrique absorbée. Ainsi une diminution de 20% des heures de marche réduit de 20% la facture d'électricité.

### Précautions de base



- Réduire autant que possible la durée de fonctionnement.
- Adapter le nombre d'heures de fonctionnement et l'horaire d'exploitation lorsque les besoins et les affectations des locaux changent.
- Contrôler régulièrement la programmation de l'horloge (suspendre une étiquette à proximité avec l'horaire valable).
- Modifier l'horaire en fonction des saisons si nécessaire.

### Une lapalissade qui se vérifie souvent



Une des mesures les plus efficaces consiste à arrêter complètement l'installation lorsque celle-ci n'est pas utile. Cela peut être réalisé simplement au moyen d'une horloge et d'un programme hebdomadaire.

### Les méthodes simples pour gérer le nombre d'heures de marche



- Horloge, à un voire à plusieurs canaux.
- Commande à distance, mais avec une remise à zéro automatique pour éviter que l'installation ne reste en service si l'utilisateur oublie de remettre la commande à zéro.
- Commandes en fonction de la météo :
  - thermostat pour verrouiller le groupe froid, l'humidificateur, etc.;
  - sondes d'ensoleillement;
  - sondes de vent;
  - sondes d'humidité.
- Sondes de présence.
- Détecteurs de CO<sub>2</sub> et qualité d'air.
- Détecteurs de CO pour les parkings (voitures, pour le diesel on mesure l'opacimétrie).
- Contacts de fenêtres.
- Contacts de porte.
- Contacts de lumière (WC).
- Relais temporisé.
- Relais à intervalles (permet de régler le temps de fonctionnement et le temps d'arrêt séparément, pour par exemple ne fonctionner qu'un quart d'heure par heure).



### 3. Ventilation



#### Contrôle des heures de fonctionnement

Le contrôle le plus simple se fait via un compteur d'heures de marche ou un compteur d'heures de marche couplé avec un compteur du nombre d'enclenchements.

En faisant de temps en temps des relevés par pointage, à des intervalles courts, on voit très bien si le nombre d'heures et d'enclenchements est raisonnable ou non.



#### Tableau indicatif des temps de fonctionnement les plus courants

Zone Heures d'utilisation	Conditions d'utilisation	Heures à pleine charge de transport de l'air (h/a)	
		Valeurs indicatives	Valeurs indicatives sévères
Bureaux 2750 h/a	Avec ventilation mécanique	2750	2000
Surface de vente 3600 h/a	Avec ventilation mécanique	3300	2000
Local d'enseignement 2000 h/a	Ecole primaire, professionnelle ou secondaire, locaux d'exercice de chimie ou de physique	2000	1200
	Auditoires, salles de conférences, local d'enseignement sur PC	1500	500
Chambre à coucher 8760 h/a	Avec ventilation mécanique	8760	8000
Chambre d'hôtel 2000 h/a	Avec ventilation mécanique	2000	1300
Restaurant 3600 h/a	Avec ventilation mécanique	1000	700
Surface de circulation 2750 h/a*	Garderobe, local sanitaire avec ventilation mécanique	1000	500
Entrepôt 2750 h/a*	Peu utilisé	1000	600
	Fréquemment utilisé	1500	1000
	Ventilation en continu nécessaire	8760	5500
Atelier 2750 h/a	Avec exigences spéciales concernant l'évacuation de matières ou avec des charges internes élevées	2000	1000
Parking 2750 h/a*	Etages de parcage dans des immeubles de bureaux ou artisans, construction non ajourée	1500	1000
	Parkings publics, construction non ajourée	2000	1200
6500 h/a			

Tableau 3.12:  
Tableau indicatif des temps de  
fonctionnement les plus  
courants.

Les données les plus récentes  
sont tirées de SIA 380/4  
«L'énergie électrique dans le  
bâtiment», tableau 9.

Valeurs indicatives pour les  
heures à pleine charge de  
transport de l'air ( $h_{TA}$ ). Pour les  
zones avec heures  
d'utilisation s'en écartant  
notamment, les heures à  
pleine charge doivent être  
converties en tenant compte  
des moments du jour et de  
l'année auxquels les heures  
d'utilisation supplémentaires  
ou manquantes ont lieu.

\* heures d'utilisation de l'utilisation principale correspondante (par exemple bureau).



## 3.7 L'humidification

**Par principe, à limiter aujourd'hui au strict minimum.**

**Dans les bâtiments administratifs, commerces d'habits, grandes surfaces, centres commerciaux, etc., on n'humidifie aujourd'hui plus.**



### Limites d'humidité selon SIA V382/1



Selon SIA V382/1, on admet qu'une humidité située en permanence entre 30 et 65% h.r. et avec des pointes entre 20 et 75% h.r. pendant quelques jours par an sont tout à fait supportables du point de vue physiologique pour l'être humain, sans qu'il soit nécessaire de recourir à une humidification artificielle.

### Problèmes liés à l'humidification



Souvent lorsqu'on accuse l'air d'être trop sec, en fait:

- la température ambiante est trop élevée;
- il y a des poussières dans l'air;
- il y a des impuretés dans l'air (par exemple formaldéhyde dans les meubles neufs);
- les porteurs de verres de contacts se plaignent souvent du manque d'humidité.

### Humidité et électricité statique



On mentionne souvent la nécessité d'humidifier pour lutter contre l'électricité statique. La CNA a édité déjà en 1959 une notice à ce sujet, qui dit que pour lutter efficacement contre les problèmes d'électricité statique, il faudrait une humidité relative permanente de 70%. On voit donc immédiatement que ce degré hygrométrique coûte non seulement très cher, mais que le confort des personnes s'en trouve affecté. Aujourd'hui, en cas de problèmes avec l'électricité statique, il faut – avant de recourir à l'humidification – voir s'il n'y a pas d'autres méthodes à envisager, revêtement de sol différent, mise à terre améliorée, etc.

### Locaux qui ne nécessitent pas d'humidification



- Les bureaux, banques, bâtiments administratifs.
- Les logements, les hôtels.
- Les magasins d'alimentation, grandes surfaces, centres commerciaux, magasins de meubles.
- Les restaurants.
- Les archives (si elles sont très peu ventilées).
- Etc.

### Locaux qui nécessitent une humidification



- Certaines animaleries (avec des animaux sensibles, souris, rats).
- Certaines parties des imprimeries (pour que le papier passe bien dans la machine sans « tuiler » et sans se déchirer).
- Certains stocks de denrées alimentaires (caves de maturation de fromage par exemple).
- Certains centraux informatiques et téléphoniques (les grands en général).
- Etc.



### 3. Ventilation

#### Comment économiser sur l'humidification

- En arrêtant froidement l'humidification.
- En diminuant les débits d'air, on diminue aussi le besoin en humidification, car la sécheresse de l'air est importée par l'air introduit.
- En n'enclenchant l'humidification que quand il fait très froid, à l'aide d'un thermostat extérieur ou dans la gaine d'air frais.
- En abaissant la valeur de consigne au minimum strictement nécessaire du point de vue physiologique.
- Si une humidification est indispensable, confiner le plus possible la zone à traiter et n'humidifier que localement.

Ne pas oublier qu'une humidification consomme souvent beaucoup d'énergie électrique et occasionne des frais d'entretien conséquents.

#### Humidification et déshumidification

Dans certaines installations, on constate qu'on déshumidifie d'abord (avec une batterie de froid) pour ensuite ré-humidifier derrière ; ce sont là des situations aberrantes qu'il faut corriger.

#### Vecteur d'énergie

En humidification, il est particulièrement important de savoir quel vecteur énergétique on utilise pour produire la vapeur. En principe, il s'agit soit de l'électricité (énergie noble et chère), soit de l'eau de chauffage produite en général à partir d'énergie fossile (bon marché).

Type	Frais d'énergie	Frais maintenance	Prix de l'appareil	Traitement d'eau	Vecteur d'énergie
Vapeur	très élevés	élevés (remplacement des vases)	bon marché	eau brute (surtout pas adoucie*)	réseau électrique
Laveur ou à contact	modérés	assez élevés	cher	eau brute	chauffage à eau chaude
		faibles	très cher à cause osmose inverse	eau déminéralisée	
Ultrasons	modérés	faibles	très cher à cause osmose inverse	eau déminéralisée	chauffage à eau chaude

Tableau 3.13: Principaux types d'humidificateurs.

\* l'eau adoucie crée de la mousse dans le vase.





### 3.8 La filtration de l'air

La filtration permet de retenir les particules indésirables. On trouve sur le marché d'innombrables types de filtres. Les pages suivantes vous permettent de mieux définir quel filtre est adapté à vos besoins et, le cas échéant, d'analyser de manière critique la filtration telle qu'elle est actuellement pratiquée chez vous.

#### Principes de base les plus courants

- Ne pas sur-filtrer, cela coûte cher en énergie et en frais d'achats de filtres.
- Ne pas sous-filtrer, cela encrasse prématurément le réseau.
- On estime aujourd'hui que tant que la classe générale de filtration ne dépasse pas F5 à F6 (selon nouvelle classification EN779 – 1995), il n'est pas nécessaire de prévoir de pré-filtre.
- Si des filtres fins sont nécessaires, il faut les mettre après le ventilateur si la transmission est à courroies => pollution de l'air par la poussière de courroies.
- Hormis pour certains locaux industriels, la classe de filtration ne devrait pas être inférieure à G4 (selon nouvelle classification 1995).



#### La perte de charge du filtre

La perte de charge d'un filtre dépend de deux paramètres :

- le débit qui transite à travers le filtre ;
- la saleté qui s'accumule dans le filtre.

La perte de charge d'un filtre varie quadratiquement avec le débit qui le traverse, comme c'est aussi le cas de la perte de charge d'un réseau, voir graphique en chapitre 3.3.

Les fabricants indiquent pour chaque type de filtre le débit maximal qu'on ne devrait pas dépasser.

#### Exemple :

- filtre de type 610, poche de dimensions 592 x 592 x 360, classe G4 ;
- débit maximum selon fabricant = 4250 m<sup>3</sup>/h/poche ;
- perte de charge initiale à l'état propre, pour 4250 m<sup>3</sup>/h = 65 Pascals [Pa] ;
- perte de charge finale à l'état sale, pour 4250 m<sup>3</sup>/h = 250 Pascals.

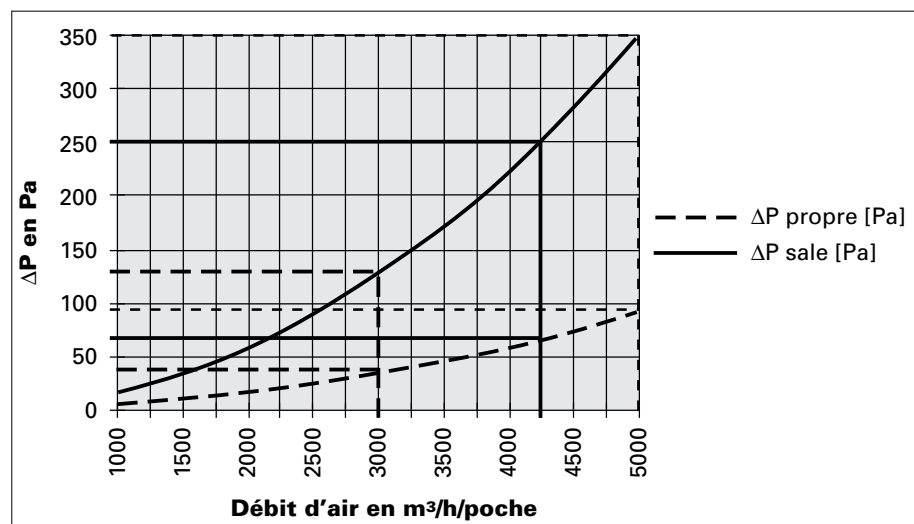


Figure 3.14 :  
Filtre type 610, classe G4,  
ΔP filtre propre et sale pour  
différents débits.



### 3. Ventilation

Admettons que dans notre installation il y a des filtres du même type que ci-dessus, mais que l'installation étant dimensionnée pour peu de pertes de charges, nous n'avons par exemple que 3000 m<sup>3</sup>/h/poche:

- débit nominal par poche: 3000 m<sup>3</sup>/h;
- perte de charge initiale propre:  $(3000 \text{ m}^3/\text{h}/4250 \text{ m}^3/\text{h})^2 \times 65 \text{ Pa} = 32 \text{ Pa}$ ;
- perte de charge finale sale:  $(3000 \text{ m}^3/\text{h}/4250 \text{ m}^3/\text{h})^2 \times 250 \text{ Pa} = 125 \text{ Pa}$ ;
- ainsi pour 125 Pa, notre filtre sera sale et il contiendra la même crasse qu'une poche saturée à 4250 m<sup>3</sup>/h avec 250 Pa de perte de charge.

Dans le cas inverse où, souvent pour des questions d'économies, on a sous-dimensionné le filtre, on obtient:

- débit nominal par poche: par exemple 5000 m<sup>3</sup>/h;
- perte de charge initiale propre:  $(5000 \text{ m}^3/\text{h}/4250 \text{ m}^3/\text{h})^2 \times 65 \text{ Pa} = 90 \text{ Pa}$ ;
- perte de charge finale sale:  $(5000 \text{ m}^3/\text{h}/4250 \text{ m}^3/\text{h})^2 \times 250 \text{ Pa} = 346 \text{ Pa}$ ;
- ainsi pour 346 Pa, notre filtre sera sale et il contiendra la même crasse qu'une poche saturée à 4250 m<sup>3</sup>/h avec 250 Pa de perte de charge;
- la différence par contre se paiera en énergie, du fait que le ventilateur devra vaincre une plus grande résistance, voir chapitre pertes de charges.



#### Mesure de la perte de charge des filtres

L'encrassement du filtre se mesure à l'aide d'un manomètre différentiel avec prise de pression en amont et en aval. On utilise en général des manomètres à aiguille avec une aiguille de contrôle bloquée à la valeur filtre sale.



**Comme on l'a vu ci-dessus, il est donc très important que l'exploitant sache dans quelles conditions l'installation doit fonctionner pour qu'il puisse contrôler la perte de charge du filtre.**

Pour bien faire, il faut mettre une étiquette sous le manomètre différentiel avec indiqué: si l'installation doit fonctionner en PV ou en GV pour le contrôle du  $\Delta p$ , la perte de charge filtre propre, la perte de charge finale correspondante.



#### Mesure du débit d'air connaissant la perte de charge des filtres

En mesurant la perte de charge des filtres, il est possible d'estimer le débit d'air qui transite. Pour cela:

- mettre des filtres propres;
- vérifier dans le manuel du fabricant de filtre la perte de charge initiale propre et le débit qui correspond à ce  $\Delta p$ ;
- mesurer avec précision le  $\Delta p$  réel avec filtres propres;
- à l'aide des lois énoncées précédemment, il est possible de calculer le débit pour une poche:



$$\text{Débit}_{\text{réel par poche}} = \left( \sqrt{\Delta P_{\text{mesuré}} / \Delta P_{\text{fabricant propre}}} \right) \times \text{Débit}_{\text{fabricant propre}}$$

résultat en [m<sup>3</sup>/h/poche]

- multipliez ensuite le débit ainsi obtenu par le nombre de poches et vous aurez le débit total à l'état filtres propres.



#### Perte de charge finale

On a vu ci-dessus la perte de charge finale proposée par les fabricants. Il faut maintenant encore regarder si l'installation est apte à supporter cette perte de charge finale. Par principe, lorsque le  $\Delta p$  filtre augmente, le débit d'air diminue, le tout étant de savoir ce qu'on tolère en diminution du débit d'air. Il n'est pas rare de voir des réductions de débit jusqu'à 50% entre filtres propres et sales, il importe donc de bien connaître ce phénomène, la qualité de la prestation fournie par l'installation en dépend.



### Perte de charge et consommation d'énergie



Lorsque le  $\Delta p$  filtre augmente, le débit d'air diminue avec comme conséquence => la puissance électrique absorbée diminue (voir également chapitre sur la perte de charge).

### Remplacement du filtre

Le remplacement du filtre dépend principalement de deux critères :

- la perte de charge finale est atteinte ;
- la durée de vie est atteinte, en général deux ans maximum, pour des questions d'odeurs.

### Si vous n'avez pas d'indications de $\Delta p$ initial et final



Il faut :

- au prochain changement de filtres, mesurer (en général en GV) le  $\Delta p$  filtre propre, ce qui vous donne la première information ;
- ensuite, à l'aide des données du fabricant, vous pouvez trouver son  $\Delta p$  filtre propre => vous pouvez calculer votre  $\Delta p$  maximum filtre sale.

### Les filtres à charbon actif



- La durée de vie des filtres à charbon actif ne peut être surveillée avec une mesure de  $\Delta p$  étant donné qu'intervient une augmentation de poids et non une augmentation de pression.
- Si la filtration est insuffisante avant le filtre à charbon actif, il risque de se colmater.
- Pour les produits radioactifs, le contrôle se fait à l'aide d'un frottis après le filtre.

### Annexes ci-après



- Unifil, pertes de charges initiales pour quelques filtres courants.
- Nouvelle classification des filtres et correspondances.
- Applications générales des filtres à air.

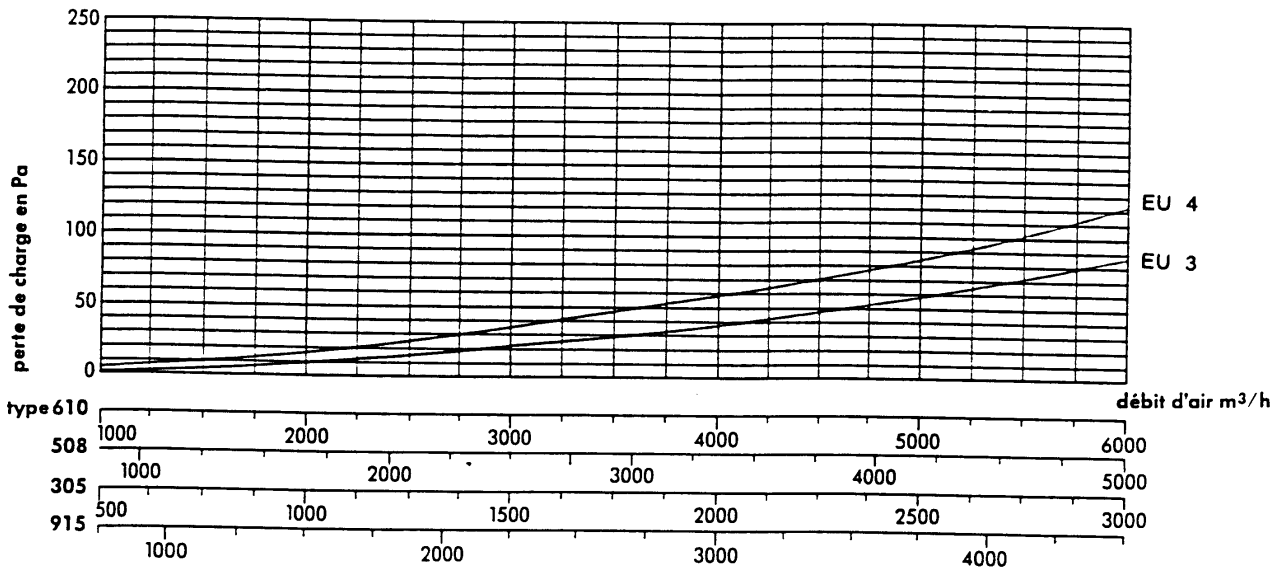


Perte de charge initiale

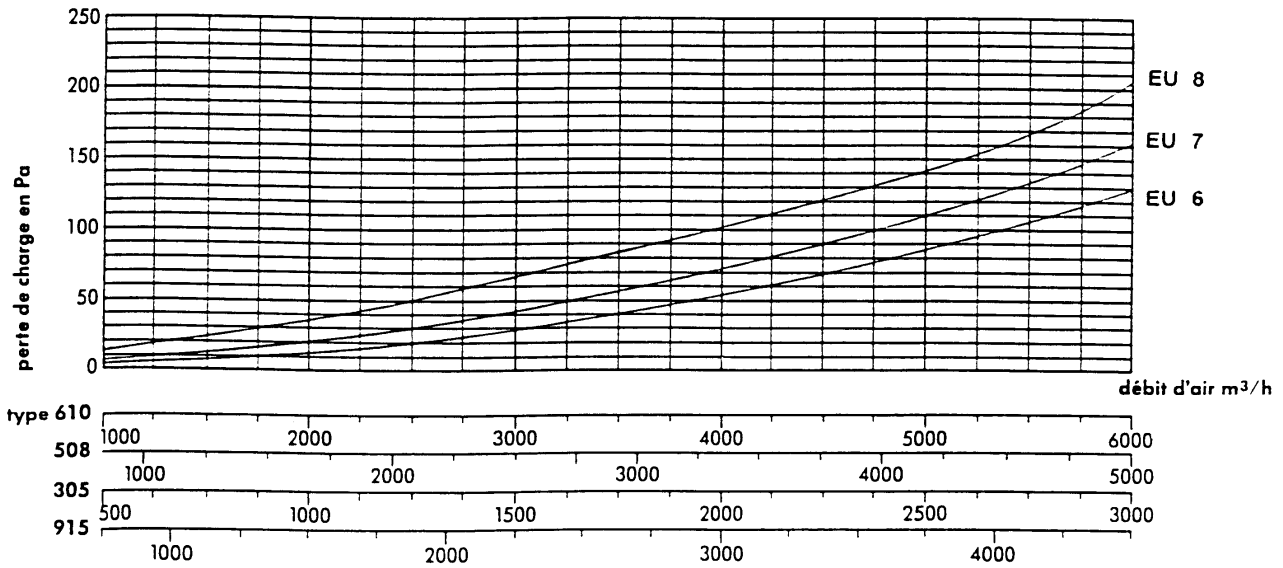
Débit d'air nominal conseillé

Dimension	592 x 592 x 360	4250 m <sup>3</sup> /h	type 610
	490 x 592 x 360	3540 m <sup>3</sup> /h	type 508
	287 x 592 x 360	2125 m <sup>3</sup> /h	type 305
	287 x 897 x 360	3200 m <sup>3</sup> /h	type 915

EU 3 - EU 4



EU 6 - EU 7 - EU 8



**Unifil AG Filtertechnik**

Figure 3.15: UNIFIL, pertes de charges initiales pour quelques filtres courants.



	EN 779 - 1995	S.I.C.C. 84	%	S.I.C.C. 68
<b>Filtres grossiers</b>	<b>Degré de séparation moyen <math>\bar{A}</math></b>			
	<b>G 1</b>	EU 1	60	
	<b>G 2</b>	EU 2	70	G 1
	<b>G 3</b>	EU 3	80	G 2
	<b>G 4</b>	EU 4	90	G 3
<b>Filtres fins</b>	<b>Rendement moyen <math>\bar{E}</math></b>			
			40	
	<b>F 5</b>	EU 5	50	F 1
			60	
	<b>F 6</b>	EU 6	70	
	<b>F 7</b>	EU 7	80	F 2
	<b>F 8</b>	EU 8	90	
	EU 9		F 3	
<b>Filtres absolus</b>	<b>Perméance initiale <math>P_A</math></b>			
			15	
	<b>H 10</b>	EU 10	10	S 1
			5,0	
	<b>H 11</b>	EU 11	3,0	S 2
			1,0	
	<b>H 12</b>		0,5	
			0,3	
	<b>H 13</b>	EU 12	0,1	
			0,05	
<b>H 14</b>	0,03		S 3	
	0,01			
		0,005		
<b>U 15</b>		0,003		
		0,001		
		0,0005		
<b>U 16</b>		0,0003		
		0,0001		
		0,00005		
		0,00003		

Tableau 3.16:  
Nouvelle classification des  
filtres et correspondances.  
Equivalence des classifications  
des filtres S.I.C.C. années 1968,  
1984 et 1995.



### 3. Ventilation

Groupes de filtres	Éléments à filtrer	Classe filtration SICC 84	Corresp. EN 779 1995	Applications
Filtres grossiers pour particules >10 µm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insectes</li> <li>• Fibres textiles et cheveux</li> <li>• Sable</li> <li>• Cendres</li> <li>• Pollen</li> <li>• Poussière de ciment</li> </ul>	EU 1 EU 2	G 1 G 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour utilisations simples (par exemple protection contre les insectes dans les appareils compacts)</li> </ul>
		EU 3 EU 4	G 3 G 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préfiltre et filtre pour les installations de protection civile</li> <li>• Evacuation d'air de cabines de peinture, cuisines, etc.</li> <li>• Protection anti-pollution pour appareils de climatisation et appareils compacts (climatiseurs de fenêtre)</li> <li>• Préfiltre pour classe de filtration EU 6 à EU 8</li> </ul>
Filtres fins pour particules 1 à 10 µm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollen</li> <li>• Poussière ciment</li> <li>• Particules qui produisent des taches ou des dépôts de poussière</li> <li>• Germes</li> <li>• Poussières chargées de bactéries</li> </ul>	EU 5	F 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre à air extérieur pour locaux à faibles exigences par exemple ateliers, garages, entrepôts</li> </ul>
		EU 5 EU 6 EU 7	F 5 F 6 F 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préfiltre et filtre pour les centrales de traitement d'air</li> <li>• Filtre final dans les installations de climatisation pour magasins, bureaux et locaux de fabrication.</li> <li>• Préfiltre pour classes EU 9 à EU 11</li> </ul>
	EU 7 EU 8 EU 9	F 7 F 8 F 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre final dans les installations pour climatiseurs de bureaux, locaux de fabrication, hôpitaux, centrales électriques, locaux ordinateurs</li> <li>• Préfiltre pour classes EU 11 et EU 12 et filtres à charbon actif</li> </ul>	
Filtres absolus pour particules < 1 µm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Germes, bactéries, virus</li> <li>• Fumée de tabac</li> <li>• Fumée d'oxyde métallique</li> </ul>	EU 10 EU 11 EU 12	H 10 H 11 & 12 H 13 & 14 U 15 & 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre final pour locaux à hautes exigences, laboratoires, alimentation, pharmacies, mécanique de précision, industrie optique et électronique, ainsi que, médecine</li> </ul>
		EU 11	H 11 & 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre final pour salles blanches de classe 100 000 respectivement 10 000</li> </ul>
	EU 12	H 13 & 14 U 15 & 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre final pour salles blanches de classe 10 000 respectivement 100</li> <li>• Filtre final pour installation de protection civile (salle d'opération)</li> <li>• Filtre pour évacuation d'air vicié pour installations nucléaires</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapeur d'huile et suie en état de formation</li> <li>• Particules radio-actives en suspension</li> </ul>			

**Tableau 3.17:**  
Propriétés et applications générales des filtres à air.  
Ce tableau donne les principales classes de filtres et leurs destinations selon la norme SICC 84-2F et sa correspondance EN 779 - 95, basée sur la norme Eurovent.

**Mise en garde:**  
On a aujourd'hui tendance – même pour des bureaux ou des grands magasins – à essayer de se contenter de filtres de classe G4 sans mettre de filtres plus fins derrière.



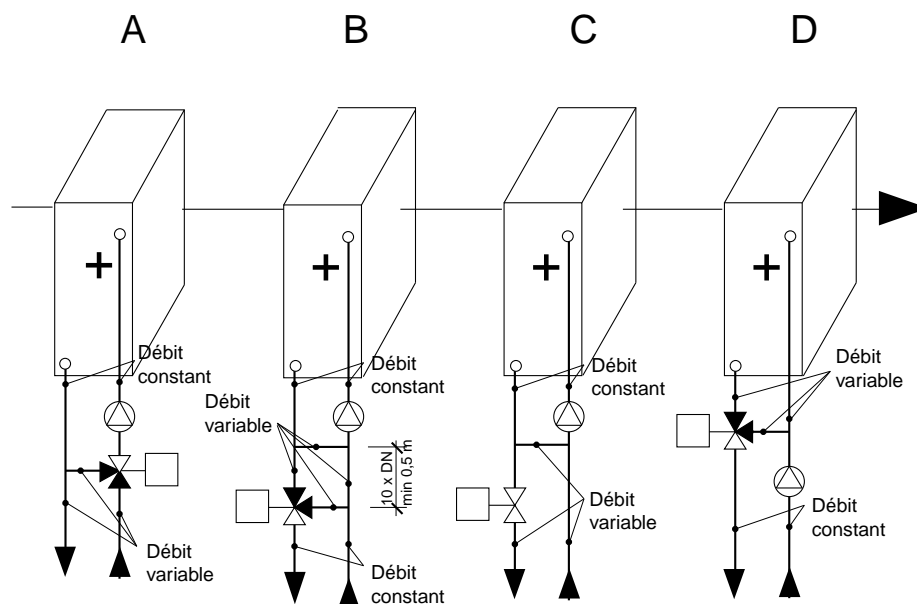
### 3.9 Les batteries d'échange de chaleur

#### Les types de raccords les plus courants

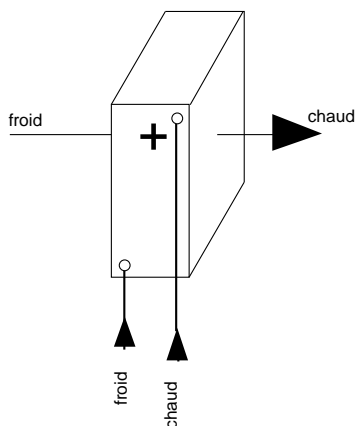


Les batteries sont le plus couramment raccordées avec l'un des couplages hydrauliques indiqués ci-après :

- A = circuit en mélange
- B = circuit en injection à 3 voies
- C = circuit en injection à 2 voies
- D = circuit en by-passe ou en décharge



Raccordement à contre courant



Raccordement en parallèle

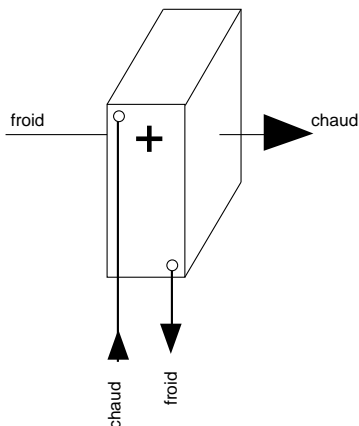


Figure 3.18:  
Les types de raccordement les plus courants.

#### Mise en garde :

On trouve aujourd'hui fréquemment des systèmes où les batteries de froid se trouvent dans le sens du flux d'air frais avant les batteries de chaud. Dans ces situations, prendre particulièrement garde au risque de danger de gel de la batterie de froid.



### 3. Ventilation



#### Puissance échangée par une batterie

La puissance transportée dans un réseau de chauffage ou d'eau glacée ou encore de récupération de chaleur s'approche grossièrement de la façon suivante:

- différence de température entre aller et retour x débit =  
 $\Delta t [^{\circ}\text{C}] \times \text{débit [l/h]} = \text{Puissance [kcal/h]}$

et pour obtenir la puissance en W, il faut:

$$P [\text{kcal/h}] \times 1,16 = P [\text{W}]$$

La puissance transportée par le réseau d'air s'approche grossièrement de la façon suivante:

- différence de température d'air x débit x 0.32 =  
 $\Delta t [^{\circ}\text{C}] \times \text{débit d'air [m}^3/\text{h}] \times 0.32 = \text{Puissance [W]} \text{ (directement en watts)}$



#### Contrôle de l'échange

##### Principes :

La batterie permet de transférer la puissance entre le réseau d'eau (qui se réchauffe ou refroidit au passage) et l'air qui se réchauffe ou refroidit en traversant la batterie.

Pour vérifier le fonctionnement, on peut soit mesurer l'écart de température de l'air au passage de la batterie, ce qui permet ensuite à l'aide du débit d'air de vérifier la puissance échangée.

On peut aussi le faire côté eau avec le  $\Delta t$  et le débit, ce qui permet également de calculer la puissance.

Les deux puissances devraient correspondre entre elles et correspondre à ce qu'il y a sur les plans, tout au moins dans les conditions extrêmes.

Pour faire le contrôle, il est nécessaire, le cas échéant, de forcer la vanne de réglage manuelle toute ouverte. Normalement, par grande chaleur ou grand froid, la vanne devrait de toute façon être tout ouverte.

##### Contrôle des ventilo-convecteurs :

Ce genre de contrôle peut aussi être fait avec des ventilo- ou éjecto-convecteurs, via  $\Delta t$  côté air et débit d'air en circulation, la difficulté résidant ici plutôt dans la mesure précise du débit d'air. Dans ce genre d'appareils, il est quasi impossible de mesurer le débit d'eau, ce qui fait qu'une approche de la puissance côté eau est quasi impossible à faire.

##### Contrôle du $\Delta t$ (à faire avec vanne de réglage tout ouverte) :

Si le  $\Delta t$  est faible (pas ou peu d'échange) :

- batterie encrassée ;
- trop de débit d'eau ;
- manque de débit d'air.

##### Si le $\Delta t$ est important :

- manque de débit d'eau ;
- débit d'air trop élevé ;
- présence d'air dans le circuit hydraulique.





## 3.10 Récupération de chaleur

### Définition



Le récupérateur est utilisé pour restituer de la chaleur (et de l'humidité, échangeur rotatif hygrosopique) à l'air neuf en guise de préchauffage.

Système possible	A contrôler
Récupérateur rotatif, rendement courant 65/75 %, voire plus suivant le rapport des débits et le surdimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>transmission</li> <li>joints, état des brosses d'étanchéité</li> <li>encrassement de la roue, surtout en cas de transfert d'humidité</li> <li>enclenchement journalier pour éviter le balourd de la roue ou laisser la vitesse de rotation minimum</li> </ul>
Récupérateur à plaques, rendement jusqu'à 80 % pour les nouveaux modèles, couramment 50-60 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>oxydation des plaques</li> <li>encrassement des plaques</li> <li>écoulement</li> </ul>
Récupérateur à eau glycolée (batterie), rendement 35-45 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>teneur en glycol (toujours mélanger le glycol avant de l'introduire dans le circuit)</li> <li>étanchéité du circuit</li> <li>expansion du circuit</li> <li>encrassement des batteries (côté air surtout)</li> </ul>
Echangeurs à tubes de verres, rendement 50-60 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>état des tubes (à contrôler à l'aide de fumigène)</li> <li>étanchéité</li> <li>encrassement</li> </ul>
Echangeur type caloduc, rendement 35-45 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>étanchéité du circuit</li> <li>mécanisme de basculement, course du piston</li> <li>encrassement</li> </ul>
Recyclage de l'air au moyen de clapet AF-AR-AV et d'une régulation offre et demande	<ul style="list-style-type: none"> <li>mécanisme des clapets</li> <li>étalonnage de la régulation (minimum air frais)</li> </ul>

### Règle importante :

En diminuant les débits d'air, on augmente le rendement de récupération => il peut être judicieux de surdimensionner l'échangeur.



### Le récupérateur le plus simple :

Le récupérateur le plus simple est sans conteste le récupérateur à plaques. Vu les progrès réalisés ces dernières années au niveau du rendement, il est devenu encore plus intéressant. La seule partie mobile se situe au niveau du clapet de by-pass pour l'été. Attention toutefois aux pertes de charges côté air (amélioration du rendement au détriment du  $\Delta p$  côté air).



### Refroidissement nocturne avec la ventilation



Ne pas oublier de bloquer les récupérateurs de chaleur, sinon le local n'arrivera pas à se refroidir, l'échangeur « compensant » la fraîcheur de l'air.



## 3.11 Les signes de mauvais fonctionnement en ventilation



### Etat général de l'installation

- rouille;
- coulures d'eau, salpêtre, tartre, graisse, glycol, etc.;
- bruit;
- ...



### Prise d'air

- dimensionnement insuffisant (neige en hiver, pluie, feuilles);
- nettoyage, obturation de la grille par insectes, par poussière;
- sifflement dans la grille => obturée;
- ...



### Réseau

- saleté dans les gaines (filtration insuffisante?);
- état de l'isolation thermique et de sa barrière vapeur;
- construction des gaines (coudes avec aubes de guidage);
- fuites aux raccords des gaines (traînées de poussières);
- sifflement dans les gaines => vitesse trop élevée ( $\Delta p$  système trop élevé), clapets fermés, clapets coupe-feu bloqués, fuites aux raccords;
- vitesse de l'air raisonnable (3 à 5 m/s, voire 6 m/s);
- ...



### Filtres

- poussière dans les filtres;
- odeur des filtres (si sentent trop, à changer, même si pas pleins);
- genre de la crasse des filtres;
- $\Delta p$  filtre propre > valeur du fabricant => filtre sous-dimensionné => monobloc sous-dimensionné =>  $\Delta p$  système important;
- $\Delta p$  filtre sale > valeur du fabricant => trop attendu avant changer filtre, ou filtre sous-dimensionné => le débit d'air peut se réduire de façon importante lorsque le  $\Delta p$  filtre devient trop élevé (bien savoir dans quelles conditions on vérifie le  $\Delta p$ , en petite vitesse ou en grande vitesse);
- neige dans les filtres (prise d'air sous-dimensionnée);
- sifflement => filtres trop sales;
- ...



### Batteries

- lamelles tordues;
- lamelles oxydées;
- saleté dans les batteries;
- $\Delta t$  côté eau dans les batteries pas juste;
- $\Delta t$  côté air dans les batteries pas juste;
- écoulement avec siphon assez profond (évite la remontée des mauvaises odeurs et l'aspiration d'eau dans le ventilateur);
- ...



### Moteur



- température trop élevée (peut-on encore y laisser la main?);
- usure des paliers (vibration);
- grattement des roulements (crasse, limaille, etc.);
- courant absorbé plus important que le courant de la plaquette;
- courant absorbé instable => ventilateur pompe => mauvais dimensionnement du ventilateur;
- courant absorbé trop faible => moteur surdimensionné, mauvais rendement, mauvais cos phi (facteur de puissance);
- ...

### Transmission



- poussière d'usure des courroies;
- usure des courroies;
- usure des poulies;
- serrage des poulies;
- débris de courroie (mauvais alignement des poulies);
- tension des courroies, flottement, blocage tendeur courroies;
- ...

### Ventilateur



- usure des paliers (vibration);
- encrassement de la turbine;
- balourd (équilibrage);
- frottement de la roue contre la volute;
- eau au fond de la volute;
- vibration manchette souple => mauvais état;
- vibration des amortisseurs de vibration;
- ...

### Bouches d'aération



- poussière aux grilles de pulsion et d'extraction;
- réglage des grilles;
- équilibrage entre les différentes grilles;
- ...

### Tableau électrique



- bornes noircies (mauvais serrage, à changer);
- thermiques noircis (surchauffe, à changer si possible par modèle supérieur);
- fonctionnement des lampes de signalisation;
- nombre d'heures de fonctionnement trop élevé;
- absence de compteurs d'heures;
- les commandes à distance ont-elles une sécurité qui les remet à zéro => relais temporisé ou horloge de remise à zéro;
- ...

### Régulation



- stabilité de la régulation (après la phase de démarrage);
- régulation qui pendule => instabilité des températures après les batteries;
- zone morte entre chaud et froid;



### 3. Ventilation

- contrôle de la température des locaux;
- ne pas chauffer avec les radiateurs pendant qu'on cherche à refroidir avec la ventilation => asservissement du chauffage statique à la régulation de la ventilation => les vannes thermostatiques ne conviennent pas, car elles compensent en permanence;
- ne pas déshumidifier, si on réhumidifie derrière et inversement;
- ...



#### **Dans les locaux ventilés**

- présence de moisissures;
- présence de condensation;
- odeurs corporelles (ventilation insuffisante ou aux mauvaises périodes, horloge dérégulée, mauvais usage commande à distance, sonde de présence défectueuse, idem sonde de CO<sub>2</sub>, clapets coupe-feu bloqués, régulation défectueuse);
- courants d'air;
- courants d'air chauds, puis après froids et ainsi de suite => la régulation pendule;
- locaux trop chauds ou trop froids, en hiver, en été;
- si locaux trop froids en été => diminuer le débit d'air;
- ...



#### **Débit d'air**

- contrôler régulièrement le débit d'air;
- vérifier si le débit d'air est encore adéquat;
- équilibrage du débit entre les différentes branches et bouches;
- ...



## 3.12 Exemples

### Ventilation de studios équipés d'un WC/douche



Ce genre de locaux se rencontre dans les internats d'écoles, d'universités et peut également être valable pour certains hôtels.

La ventilation est ici limitée à une simple aspiration, l'air de remplacement venant si possible de l'extérieur par un guichet ou même par un système à ventilation double flux avec récupération de chaleur. Les débits d'air utilisés sont les suivants, par exemple à l'Ecole hôtelière de Lausanne :

- pendant la douche du matin, 6 h 00 à 8 h 00 = 40 m<sup>3</sup>/h/studio ;
- pendant le reste de la journée, 8 h 00 à 24 h 00 = 20 m<sup>3</sup>/h/studio ;
- pendant la nuit, 24 h 00 à 6 h 00 = 0 m<sup>3</sup>/h/studio.

### Ventilation d'appartements



On a aujourd'hui tendance à mieux ventiler les appartements et surtout à prévoir une amenée d'air pour que l'air vicié soit réellement évacué, car sans amenée d'air, les joints des portes et fenêtres sont souvent tellement étanches que l'aspiration se fait très mal.

Techniquement, le meilleur système est sans conteste le « double-flux » où l'air neuf est pulsé dans chaque pièce après avoir été filtré et réchauffé dans un échangeur où il a pris la chaleur de l'air évacué. L'air vicié est quant à lui aspiré dans les WC/bains/cuisines et passé dans l'échangeur susmentionné. Cette méthode donne une très bonne hygiène des constructions et permet d'éviter beaucoup de problèmes de moisissures, taches grises et autres problèmes d'odeurs.

Les débits d'air utilisés sont faibles :

- pour une chambre à coucher, 20 à 40 m<sup>3</sup>/h/chambre ;
- pour un séjour, 60 à 100 m<sup>3</sup>/h ;
- le débit est en général réduit de 50 % pendant la nuit et pendant les heures d'inoccupation.

L'effet est ici surtout réalisé par le fonctionnement en continu de l'installation, ce qui permet effectivement d'avoir des débits faibles. On peut toutefois éteindre l'installation la nuit, si on dort avec les fenêtres ouvertes. Globalement, cela donne des renouvellements horaires de 0,3 à 0,5/h, en fonction du débit choisi (fumeurs, non fumeurs, etc.). Il faut toutefois dimensionner l'installation avec soin et la commander de façon rationnelle, faute de quoi une bonne partie du potentiel est perdu.

### Ventilation de halles de stockage, de dépôts



Ici, on constate souvent que les débits d'air utilisés sont beaucoup trop importants. D'un point de vue hygiénique, il y a souvent peu de personnel dans ces locaux, ainsi donc les infiltrations naturelles par les inétanchéités de l'enveloppe du bâtiment suffisent largement à amener de l'air neuf. On ventile en général ces locaux soit pour amener de l'humidité (stocks de papier), du chaud, du froid (vin) ou éventuellement pour déshumidifier. Si on n'a ni besoin de chauffer, refroidir ou encore humidifier, parce qu'il s'agit de dépôts en caves, secs, une ventilation minimale de 0,3 à 0,5 renouvellement/heure suffit alors. S'il y a d'autres besoins à satisfaire comme mentionné précédemment, il faut tout d'abord voir si on ne peut pas résoudre le problème en utilisant des appareils statiques :

- radiateurs ou tuyaux chauffants ;
- humidificateurs locaux et non centraux (qui nécessitent un système de ventilation pour transporter l'humidité) ;
- etc.



### 3. Ventilation

Il faut ensuite ne pas oublier que chaque fois qu'on amène de l'air neuf depuis l'extérieur, il est nécessaire de le traiter pour l'amener aux conditions voulues, alors que si on travaille sans air neuf, les conditions du local vont changer beaucoup moins vite puisqu'on n'introduit pas d'élément perturbateur. Pour les installations existantes, le mieux est de commencer par réduire les heures de fonctionnement progressivement tout en surveillant les conditions ambiantes à satisfaire.

Les heures de ventilation seront choisies en fonction des conditions extérieures, suivant qu'on veut chauffer, refroidir, par exemple

**en été** on ventilera à 100% air frais quelques heures la nuit, si on veut refroidir et diminuer le taux d'humidité;

**en hiver** on ventilera le jour sans air frais si on veut chauffer et humidifier moins.

Il n'est pas rare qu'on puisse réduire les heures de fonctionnement jusqu'à 80%, voire même arrêter complètement l'installation définitivement.

Chez Veillon vente par correspondance, une grande installation de ventilation de 30 000 m<sup>3</sup>/h a pu ainsi être complètement arrêtée définitivement.

Chez Baumgartner Papiers, les heures de fonctionnement de la ventilation d'une halle de stockage de 6000 palettes de papier ont pu être réduites de 85% (débit 85 000 m<sup>3</sup>/h, précédemment en service 24 h/24, maintenant uniformément 3 h/24 h pendant la nuit).

#### ■ ■ ■ ■ ■ Ventilation d'archives

Les archives se portent le mieux si on les dérange le moins possible. Dans les archives cantonales vaudoises, les débits d'air sont très faibles, environ 0,3 renouvellement/heure pendant 4 à 6 heures/jour, sans traitement particulier. Un déshumidificateur mobile qu'on promène de salle en salle assure la déshumidification nécessaire. Une humidification de l'air n'a jamais été nécessaire.

Les locaux sont bien entendus souterrains, construits massivement en béton et sans fenêtres, pour des questions de sécurité, feu particulièrement, ce qui facilite les problèmes de ventilation.

#### ■ ■ ■ ■ ■ Ventilation d'auditoires, grandes salles de conférence

Le problème tient ici à la variabilité du nombre de personnes et à l'irrégularité de l'utilisation.

L'enclenchement par sondes de présence et le pilotage du débit d'air en fonction de la pollution de l'air (sondes de CO<sub>2</sub> si fumée interdite ou sondes CO<sub>2</sub>-VOC si fumée autorisée) sont ici des bonnes solutions qui diminuent considérablement les frais d'énergie, ainsi que les frais d'entretien et l'usure du matériel.

A l'Université de Zurich, deux auditoriums (450 et 150 places) ont été ainsi assainis et les heures de fonctionnement ont diminué de 70%, sans diminution du confort pour les utilisateurs.



## 4. L'air comprimé

**L'air comprimé n'est pas un vecteur d'énergie bon marché => une utilisation adaptée et un entretien conséquent permettent de diminuer les coûts d'énergie et d'entretien.**

**On compte couramment que 100 W de puissance mécanique (pneumatique) nécessitent 1 kW de puissance électrique => rendement = ~10%.**



### 4.1 Les points les plus importants concernant l'air comprimé

#### Fuites



- Traquer les fuites sans relâche.
- Mettre une vanne d'arrêt étanche à la sortie du réservoir, ce qui permet de supprimer les fuites en dehors des heures d'utilisation en fermant la vanne.
- Autre possibilité : horloge qui arrête le compresseur en dehors des heures de travail.

#### Compression



- Comprimer l'air le moins possible, juste un peu plus que la pression maximale nécessaire à l'utilisation.

#### Niveau de pression



- S'il y a des niveaux de pression très différents, envisager de séparer les réseaux et les producteurs.

#### Redondance/surdimensionnement



- Au cas où il y a plusieurs compresseurs en parallèle pour des raisons de sécurité, voir dans quelle mesure on est obligé de laisser tous les compresseurs en marche en permanence.
- Des compresseurs surdimensionnés sont toujours source de pertes d'énergie importantes.
- Pour les compresseurs à vis, attention au temps de marche à vide qui peut représenter jusqu'à 80% du temps de marche total.

#### Récupération de l'énergie de refroidissement



- L'énergie nécessaire au refroidissement (déshumidification) de l'air comprimé peut souvent être réutilisée ailleurs, par exemple pour chauffer de l'eau chaude sanitaire.



## 4.2 Surconsommation en cas de compression trop élevée



On estime en général qu'une pression de compresseur trop élevée par rapport à la pression d'utilisation entraîne une élévation de consommation d'énergie de + 6%/bar supplémentaire.

## 4.3 Air comprimé pour installations de régulation

La pression nécessaire pour faire fonctionner les régulations n'est en général pas très élevée, il importe donc là aussi que le compresseur ait une pression à peine supérieure à celle nécessaire pour l'utilisation.

Comme ces installations restent en service 24h/24, il est ici particulièrement important de traquer les fuites.

## 4.4 Pour vérifier votre installation d'air comprimé

Le plus simple est de contrôler le nombre d'heures de marche en dehors des heures de travail, avec un compteur horaire ou avec le compteur électrique, vous serez certainement surpris du résultat.

## 4.5 Combien coûtent les fuites

On estime que pour un réseau distribuant à 6 bars:  
(électricité à 14 ct./kWh et 8000 h/a)



- une fuite de  $\varnothing$  1 mm coûte Fr. 800.-/a;
- une fuite de  $\varnothing$  2 mm coûte Fr. 3300.-/a;
- une fuite de  $\varnothing$  6 mm coûte Fr. 14 000.-/a.





## 5. Le froid

### 5.1 Production de froid

#### Quelques règles générales concernant les compresseurs



La consommation électrique du compresseur dépend bien entendu de sa taille, **mais surtout aussi des conditions dans lesquelles il travaille – température d'évaporation** (côté froid) et **température de condensation** (côté chaud):

***Plus la différence de température entre évaporation et condensation augmente, plus la puissance frigorifique diminue et plus la puissance électrique absorbée augmente.***



C'est le niveau de température de la condensation qui est le plus critique concernant la consommation d'énergie.

Les meilleurs rendements (COP = coefficient de performance) sont donc atteints lorsque la température d'évaporation est élevée et la température de condensation basse.

Des échangeurs généreusement dimensionnés, permettent des écarts de température faibles entre le fluide frigorigène et l'eau glacée ou l'eau de condensation et ainsi un écart de température entre évaporation et condensation plus faible, donc de meilleures performances.

#### Surveillance de base du circuit frigorifique



Comme surveillance de base, il y a quatre contrôles que le personnel d'entretien peut facilement faire lui-même:

- Contrôle de la qualité de passage du fluide frigorigène dans le voyant liquide, il ne doit pas y avoir de bulles. S'il y a des bulles, cela traduit, dans la plupart des installations, un manque de fluide, donc des fuites => *dépannage rapide par le frigoriste.*
- Contrôle de l'humidité du circuit frigorifique en comparant les couleurs dans le voyant (dry = sec, wet = humide). La présence d'humidité peut gravement endommager le groupe froid => *dépannage par le frigoriste.*
- Contrôle de la température du carter du compresseur, le carter ne doit pas être très froid, il ne doit ni condenser et encore moins givrer. On admet qu'il doit à peu près avoir la température ambiante du local. S'il est trop froid => *cela nécessite un réglage par le frigoriste.*
- Contrôle du niveau d'huile.

#### Condenseurs



Si on veut éviter que la température de condensation ne s'élève avec le temps et donc consommer plus d'énergie électrique pour moins de puissance frigorifique, il faut veiller à ce que le condenseur soit toujours bien propre.



### Tours de refroidissement en circuit ouvert

- Dans ces installations, le condenseur a tendance à se boucher du fait du calcaire qu'il y a dans l'eau potable qui sert de fluide de refroidissement. Il est donc très important de détartrer régulièrement les condenseurs.
- Il se peut aussi que les nids d'abeilles dans lesquels ruisselle l'eau dans la tour de refroidissement se désagrègent avec le temps, et les petits morceaux de plastique qui se détachent se déposent dans le condenseur.
- Il en va de même des parties rouillées des tuyauteries, souvent encore enrobées de calcaire qui finissent aussi dans le condenseur et qui bouchent alors directement les tubes du condenseur d'un coup.
- On peut combattre l'introduction des grosses particules en posant un filtre grossier à l'entrée du condenseur.



### Tours de refroidissement en circuit fermé

- Dans ces installations, le fluide à refroidir circule dans un réseau fermé mais on fait ruisseler de l'eau potable (en général naturellement chargée en calcaire) sur les faisceaux de tuyaux pour augmenter le refroidissement.
- Donc là aussi le principal problème est le calcaire qui se dépose autour des tuyaux à refroidir dans la tour, mais qui ne peut heureusement pas entrer dans le circuit puisqu'il est fermé. Il faut là aussi régulièrement détartrer l'intérieur de la tour pour éviter que ne diminuent les qualités d'échange de chaleur.



### Danger de gel dans les tours de refroidissement

- L'eau qui se trouve dans les tours de refroidissement peut geler s'il fait froid. Pour éviter ce phénomène, on équipe les tours de corps de chauffe électriques.
- Il est bien évident que ces corps de chauffe ne doivent fonctionner qu'en cas de nécessité; ils ne sont pas prévus pour assurer le hors gel pendant toute la saison hivernale.
- Pour une tour à circuit ouvert, il faut en hiver vidanger le circuit jusqu'au condenseur, ne pas oublier d'arrêter la pompe de circulation et débrancher le corps de chauffe électrique pour éviter qu'il ne marche par inadvertance. Dès ce moment, l'installation froid ne peut plus fonctionner.
- Pour une tour en circuit fermé, la démarche est la même, mais l'installation peut continuer à fonctionner, l'air étant assez froid pour assurer seul les besoins en refroidissement.



### Aéro-refroidisseurs

- Il s'agit simplement de condenseurs refroidis à l'air, sans adjonction supplémentaire.
- Ici le principal problème est le nettoyage des batteries, car le genre de construction de ces appareils ne prévoit presque jamais de filtres anti-poussières. Il est donc nécessaire de dépoussiérer et enlever régulièrement les feuilles mortes et autres déchets, faute de quoi, le débit d'air diminuant, les qualités d'échange diminuent aussi, ce qui entraîne une diminution de la puissance frigorifique et une augmentation de la puissance électrique absorbée.



### Evaporateurs

Avec les évaporateurs, il n'y a pas les mêmes problèmes qu'avec les condenseurs, du fait qu'ils sont en général à circuit fermé. Il faut ici particulièrement



faire attention au risque de gel de l'évaporateur, il est donc particulièrement important de maintenir un débit suffisant => *on ne peut pas appliquer n'importe quelle stratégie de réglage.*

## 5.2 Distribution de froid

### Règles de base

#### ■ Eviter de chauffer en même temps lorsqu'on cherche à refroidir :

On constate dans d'innombrables installations que, par exemple, les radiateurs sont chauds alors que le groupe froid est en route pour refroidir l'air que la ventilation injecte dans le local chauffé par ailleurs.



#### ■ Eviter de déshumidifier pour ré-humidifier derrière :

Lorsque la température de la batterie de froid est très basse, l'air n'est plus seulement refroidi, mais il est aussi déshumidifié. Il est donc important de bien vérifier que votre installation ne déshumidifie pas ou pas trop, pour éviter de devoir ré-humidifier derrière.



### Températures d'eau glacée



Les réseaux de distribution d'eau glacée sont le plus couramment dimensionnés pour une température de départ de 6°C et un retour à 12°C (normalement ces indications se trouvent dans les plans de votre installation). On trouve également des températures de 7°C/13°C ou d'autres et plus récemment des températures beaucoup plus élevées comme 16°C/18°C lorsqu'on a affaire à des appareils qui n'ont pas le droit de condenser, comme des ventilo- ou éjecto-convecteurs sans écoulements ou des plafonds froids.

Les thermomètres pour eau glacée, genre Sika à alcool, sont en général assez précis. Les valeurs qu'ils indiquent peuvent être utilisées pour les contrôles journaliers de fonctionnement.

### Pompes de circulation



Les pompes de circulation des groupes froids ont très souvent tendance à être surdimensionnées (comme c'est aussi le cas en chauffage). Du fait des faibles écarts de températures entre aller et retour, les puissances des pompes de froid et de condensation sont en général très importantes par rapport à celles qu'on trouve en chauffage. Il est donc très intéressant de pouvoir déterminer si les pompes sont effectivement surdimensionnées, car le potentiel d'économie d'énergie électrique est très important.

Pour vérifier le surdimensionnement, il faut vérifier le  $\Delta t$  entre aller et retour et le comparer avec les valeurs nominales prévues. Souvent on peut encore aussi contrôler le débit en circulation.

Si par exemple vous avez un réseau prévu en 6–12°C et qu'au maximum par temps très chaud, vous n'avez que 6–9°C et que tous vos consommateurs sont en service et satisfaits, votre circulateur alors est surdimensionné d'un facteur 2.

Si dans le cas susmentionné vous avez deux pompes qui marchent en parallèle, vous pourriez essayer de ne fonctionner qu'avec une seule pompe en alternance. On peut aussi réduire la vitesse des pompes ou changer le moteur (si c'est une pompe in-line) ou carrément changer la pompe.



Quoi qu'il en soit, vous connaissez maintenant à peu près le surdimensionnement et savez donc qu'en cas de remplacement, il faut mettre une pompe notablement plus petite (qui vous coûtera d'ailleurs moins cher).

### ■ ■ ■ ■ ► **Équilibrage hydraulique des réseaux**

La problématique de l'équilibrage hydraulique est encore plus importante en froid qu'en chaud, du fait des  $\Delta t$  plus petits.

La méthode d'équilibrage est identique pour le froid et le chaud.

## **5.3 Pour diminuer la consommation de froid**

### ■ ■ ■ ■ ► **Réglage des groupes froids**

- Ne mettre le froid en route que quand il fait vraiment chaud et pas déjà lorsqu'il fait 20°C dehors, verrouillage par exemple via un thermostat.
- Verrouiller systématiquement les machines froid en fonction des conditions extérieures; s'il y a plusieurs machines ou plusieurs étages, verrouiller séparément chaque étage à une température différente.
- Faire de l'eau glacée la moins froide possible, éventuellement moduler la température de départ du groupe froid en fonction des conditions extérieures.
- Vérifier que la température de condensation soit la plus basse possible (avec les condenseurs à eau de ville, il faut trouver un compromis entre le prix du m<sup>3</sup> d'eau potable et l'augmentation de la consommation d'énergie électrique si on augmente la température de condensation pour diminuer la consommation d'eau).
- Ne charger les accumulateurs de glace que si c'est nécessaire.

### ■ ■ ■ ■ ► **Diminuer l'offre de froid**

- Plus vous offrez de froid aux utilisateurs, plus ils en voudront.
- Aujourd'hui, on tolère en été des températures ambiantes jusqu'à 28°C pour 30°C extérieurs. Au-dessus de 30°C extérieurs, il n'y a plus de température ambiante à garantir (SIA V382/1).
- Éviter de laisser les circuits froids en service alors qu'il n'y a pas de demande: nuit, week-end, entre-saisons (arrêter aussi les pompes de circulation). Si nécessaire, fermer les vannes à la main.
- Si certains réseaux doivent fonctionner toute l'année, faire en sorte que ceux qui sont arrêtés en hiver ne circulent pas.
- Éviter de laisser les vases tampons froids lorsqu'il n'y a pas de demande.

### ■ ■ ■ ■ ► **Diminuer les charges thermiques**

#### **Stores :**

- Les stores extérieurs à lamelles sont la protection très efficace la plus simple.
- Gestion adéquate des stores extérieurs; en cas d'inoccupation des locaux laisser les stores en bas tout fermés en permanence, particulièrement valable le week-end.
- Le cas échéant, forcer les stores en bas, contre l'avis des utilisateurs.
- Fermer les stores déjà le matin, avant que le chaud ne rentre (particulièrement en façades Est et Sud-Est).

**Eclairage:**

- Non seulement rajouter des lampes, mais en enlever aussi de temps en temps.
- Eviter si possible d'allumer les lampes en été.
- Prévoir tout au moins deux rangées de lampes commandées séparément, une vers la façade et l'autre vers le fond.
- Utiliser des lampes à économie d'énergie, voir chapitre y relatif.

**Appareils:**

- Arrêter les appareils non en service.
- Confiner les zones à fortes concentration d'appareils, par exemple locaux pour photocopieurs, et éviter de refroidir ces locaux.
- Arrêter les écrans des ordinateurs non utilisés.

**Débit d'air:**

- Le débit d'air neuf étant importé de l'extérieur où il fait chaud, il doit être refroidi et le cas échéant déshumidifié. Si on peut diminuer le débit d'air neuf, on diminue du même coup les besoins de froid.
- Voir également, pour les installations fonctionnant en roulement, si on ne peut pas diminuer les débits d'air en circulation, ce qui diminue la consommation électrique des ventilateurs, donc la charge thermique supplémentaire transmise à l'air par les ventilateurs et autres moteurs placés dans le flux d'air.

**Batteries froides de ventilation**

Si on refroidit trop l'air dans les batteries de ventilation, dès qu'on atteint le point de rosée on commence également à condenser, ce qui nécessite beaucoup d'énergie (~700 Wh pour un litre d'eau). Ainsi, si vous ne cherchez pas à déshumidifier, maintenez votre température pour autant que possible au-dessus du point de condensation.

Si vous déshumidifiez, évitez de ré-humidifier juste derrière.

**Refroidissement nocturne**

Voir dans quelle mesure il ne serait pas éventuellement intéressant, du point de vue consommation d'énergie et confort, de refroidir partiellement la nuit soit avec la ventilation seule, soit en accompagnement avec le groupe froid, au tarif réduit.



## 6. Le chauffage

### 6.1 Introduction

Le chauffage étant un domaine déjà très bien documenté via les publications du premier programme d'impulsions, ainsi que par Ravel – documentation sur les circulateurs – et E2000 ou Diane, nous préférons renvoyer le lecteur aux publications déjà existantes dans ce domaine. Une liste des documents existants est donnée dans la bibliographie.



Les participants au cours Ravel 309 – *Exploitation des installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)* – reçoivent en plus avec les documents du cours la brochure E2000 – *Le guide du chauffage à l'intention des concierges* – N° OCFIM 805.157 f.

### 6.2 Les signes de mauvais fonctionnement en chauffage

Les indices ci-dessous se complètent mutuellement avec ceux mentionnés dans *Le guide du chauffage à l'intention des concierges* qui sert de documentation de base pour le chapitre 6: chauffage.



#### Etat général de l'installation

- Rouille.
- Coulures d'eau, salpêtre, tartre, glycol, mazout, etc.
- Bruit, vibrations, sifflements.
- Odeurs de gaz brûlés dans les locaux.
- ...



#### Isolation des divers composants

- Chaufferies et sous-stations sont chaudes => les chaudières et les armatures et peut-être même les tuyauteries sont mal isolées => dans une chaufferie moderne, il fait frais en hiver.
- Il est intéressant d'isoler les armatures, car chacune équivaut à la déperdition de plusieurs mètres de conduite droite.
- ...



#### Stockage et transport de mazout

- Bac de rétention fissuré.
- Film d'étanchéité perforé.
- Fond du bac de rétention mouillé par de l'eau, du mazout, etc.
- Fuites sur les armatures de mazout, brûleurs, etc.
- Absence de valve anti-siphonnage ou vanne magnétique «de protection des eaux».
- Pompe transfert mazout en service alors que le brûleur est arrêté.
- ...



### Chaudières



- Parois de la chaudière chaudes => chaudière mal isolée.
- Fuites d'eau lorsque la chaudière est froide, mais pas à chaud => défaut d'étanchéité de l'assemblage des éléments fonte => en général irrémédiable => remplacement chaudière à court ou moyen terme.
- Fuites à chaud et à froid => chaudière perforée par corrosion ou fissurée.
- Deuxième chaudière en service alors qu'elle pourrait rester froide.
- Température de retour insuffisante => corrosion de la chaudière par condensation interne des gaz de fumée => la température exacte dépend du fabricant et du type; certaines chaudières n'ont pas de température mini.
- ...

### Brûleurs



- Si temps de fonctionnement insuffisant par temps froid < 4 à 6 minutes => il faudrait sous-litrer le brûleur, la puissance est trop importante.
- En sous-litrant, on abaisse la température des gaz de fumée => augmente le rendement de combustion => mais attention à respecter une température des gaz de fumée minimale (qui dépend du type de chaudière).
- Le brûleur n'a pas de clapet de fermeture motorisé à l'admission de l'air => lors de l'arrêt du brûleur, l'air passe par tirage naturel au travers du brûleur et refroidit la chaudière prématurément.
- ...

### Cheminées



- S'il y a des coulures noirâtres au pied de la cheminée ou à la sortie du clapet d'explosion, la température des gaz de fumée est trop froide et ils condensent dans la cheminée => attention à la dégradation de la cheminée. Remède: augmenter la température ou tuber la cheminée.
- Si la cheminée ne condense qu'occasionnellement pendant les phases de démarrage, ce n'est pas grave. Faire en sorte que les condensats sèchent entre deux phases.
- ...

### Vases d'expansion (sans compresseurs)



- S'il n'y a plus d'air qui sort par la valve à air => soit la membrane n'est plus étanche et il n'y a plus d'air, soit il y a tellement d'eau que la membrane s'est affaissée sur la valve et bouche la sortie de l'air.
- Si de l'eau sort par la valve de remplissage d'air => la membrane est perforée, il faut changer le vase.
- Il faut contrôler la pression initiale côté air tous les 2 ans au moins (nécessite d'enlever toute l'eau qu'il y a dans le vase).
- ...

### Collecteurs de distribution



- Absence de thermomètres de contrôle.
- Les thermomètres qui sont sur place indiquent-ils des valeurs plausibles (attention les thermomètres de chauffage sont souvent imprécis).
- Absence d'organes d'équilibrage.
- Organes d'équilibrage tous ouverts au maximum => suspect.
- ...



### Réseau de distribution

- Réseaux partiellement non isolés.
- Réseaux avec points hauts sans purges => poches d'air possibles.
- ...



### Pompes

- Si  $\Delta T$  trop faible par temps froid => pompe surdimensionnée (attention avec les vannes thermostatiques, le  $\Delta t$  peut être grand par temps doux si la température d'eau de chauffage est trop élevée pour la température extérieure qu'il fait).
- La vitesse de la pompe est-elle bien ajustée? ou pourrait-on encore la réduire?
- Dans les pompes de chauffage, la **règle d'or** est:  
*1 W électrique / 1 kW thermique transporté.*
- ...



### Température des radiateurs

- Les radiateurs sont partiellement froids => normal s'il fait assez chaud et que la vanne thermostatique coupe l'arrivée d'eau. Il est normal que l'eau se refroidisse entre l'entrée et la sortie du radiateur, puisque l'eau cède son énergie au local.
- Le  $\Delta t$  entrée/sortie des radiateurs devrait être environ égal pour tous les radiateurs d'un même groupe. Si vous avez des différences importantes, par exemple dans un radiateur 5°C et dans le radiateur suivant 20°C, il y a manifestement un problème d'équilibrage hydraulique, le deuxième radiateur ne recevant pas assez d'eau et le premier trop (contrôle à faire par temps couvert – influence du soleil – plutôt le matin juste après la relance matinale, attention que toutes les vannes soient ouvertes, surtout si elles sont thermostatiques).
- ...



### Vannes de radiateurs

- Sifflement des vannes thermostatiques => la plupart des vannes sifflent lorsqu'elles sont presque fermées => bouger très légèrement la position de réglage et en général le sifflement disparaît.  
*C'est aussi en général le signe d'une pompe à débit trop élevé!*
- Les radiateurs sont froids alors que la vanne est ouverte:
  - pointeau de vanne bloqué en position fermée;
  - bulbe thermostatique hors d'usage;
  - mauvais équilibrage hydraulique du réseau de chauffage.
- Préréglage des raccords de retour et des vannes de radiateurs:
  - si tous les raccords et toutes les vannes ont le préréglage ouvert sur maximum => suspect, l'installation n'a certainement jamais été équilibrée hydrauliquement (c'est vraisemblablement le cas dans 90% des installations).
- ...



### Purge et vidange des réseaux et des radiateurs

- Glouglous:
  - pression insuffisante dans le réseau => voir vase d'expansion ou réseau insuffisamment rempli;
  - activité bactérienne dans l'eau de chauffage => les gaz qui sortent par la purge sentent le méthane;
  - purgeurs automatiques hors d'usage => ils finissent toujours par se boucher => il vaut mieux les remplacer par des bouteilles d'air;





- Purges et vidanges bouchées => eau de chauffage remplie de rouille ou autre produit de corrosion:
  - corrosion due à l'entrée d'oxygène par les tuyaux de chauffage de sol;
  - corrosion au zinc due au mélange d'acier noir et galvanisé dans un réseau de chauffage;
  - ...
  - dans ces cas, il faut faire analyser l'eau pour savoir d'où vient la corrosion et ensuite rinçage et traitement d'eau.
- Un contrôle systématique de la qualité de l'eau tous les deux ou trois ans peut être utile.
- ...

### Tableau électrique



- Bornes noircies (mauvais serrage, à changer).
- Thermiques noircis (surchauffe, à changer si possible par modèle supérieur).
- Fonctionnement des lampes de signalisation.
- Nombre d'heures de fonctionnement trop élevé.
- Absence de compteurs d'heures.
- Les commandes à distance ont-elles une sécurité qui les remet à zéro => relais temporisé ou horloge de remise à zéro.
- ...

### Régulation



- Stabilité de la régulation (après la phase de démarrage).
- Régulation qui pendule => instabilité des températures après les batteries ou à la sortie des groupes de départ sur les collecteurs.
- Zone morte entre chaud et froid.
- Contrôle de la température des locaux.
- Ne pas chauffer avec les radiateurs pendant qu'on cherche à refroidir avec la ventilation => asservissement du chauffage statique à la régulation de la ventilation => les vannes thermostatiques ne conviennent pas, car elles compensent en permanence.
- ...



## 7. L'eau chaude sanitaire

L'énergie utilisée pour produire l'eau chaude sanitaire couvre les besoins suivants:

- les pertes de production et de distribution primaires (voir sous chauffage);
- les pertes par rayonnement du stock;
- les pertes par la circulation de l'eau pour le maintien d'eau déjà chaude avant chaque robinet de soutirage;
- enfin l'eau chaude réellement utilisée.

### 7.1 Les pertes par rayonnement du stock

La surface du stock devrait toujours rester froide, voire juste tiède. Si la surface est chaude, le stock est mal isolé. Il est souvent facile d'améliorer l'isolation du stock.

Si vous avez plusieurs stocks en parallèle, avez-vous déjà essayé d'en arrêter un ou plus? Ce qui permettrait de diminuer les pertes de stock.

Le stock ne devrait pas être maintenu plus haut que 55°C, d'une part pour maintenir l'entartrage faible et d'autre part pour diminuer les pertes par rayonnement.

### 7.2 Les pertes par circulation d'eau

Dans certaines installations, les pertes par circulation représentent jusqu'à la moitié de l'énergie utilisée pour la production d'eau chaude.

On constate que la plupart du temps:

- Non seulement les retours de circulation sont très chauds => il y a donc trop d'eau qui circule => en diminuant l'eau qui circule on diminue les pertes par circulation. Les retours devraient être justes tièdes.
- Les circulateurs ecs sont en général beaucoup trop grands par rapport aux besoins réels. Des circulateurs de 20 W de puissance électriques sont en général largement suffisants.
- La circulation fonctionne 24h/24 On sait aujourd'hui qu'on peut très bien arrêter la pompe de circulation la nuit et, pendant la journée, la faire fonctionner par impulsions, par exemple un quart d'heure par heure => ceci permet non seulement de diminuer les pertes par circulation, mais diminue encore la consommation électrique de la pompe de circulation, tout cela sans perte de confort pour l'utilisateur.
- Les tuyaux de retour de circulation sont trop grands => trop de pertes

### 7.3 L'eau chaude réellement utilisée

On cherche aujourd'hui à limiter le débit maximum des robinets et autres pommes de douches:

- robinets de lavabo à limiter à 6 l/min;
- douches à limiter à 10 – 12 l/min.

Les limiteurs se trouvent aujourd'hui sans autres dans le commerce. Pour contrôler le débit, il suffit de prendre un seau et un chronomètre.



## 8. Electricité

Les recommandations qui suivent s'adressent au personnel de surveillance et de maintenance des installations techniques du bâtiment, ainsi qu'au service du personnel des administrations fédérales<sup>1</sup>. Elles montrent qu'avec des mesures simples, il est possible de réduire notablement la consommation d'électricité.

<sup>1</sup> Il s'agit d'un document interne de l'Administration fédérale que nous avons repris tel quel; c'est pourquoi vous y trouverez des renvois directs à des adresses et numéros de téléphones de la Confédération.

### 8.1 Généralités

Etudes et statistiques démontrent, qu'au cours des dernières années, la consommation d'énergie électrique a constamment augmenté. Les deux dernières années montrent une réduction exceptionnelle due à la récession (figure 8.1). En appliquant de manière conséquente les mesures simples connues, on peut réaliser des économies importantes. Pour cela, la coopération de tous les consommateurs d'électricité est nécessaire. Malheureusement, aujourd'hui encore, personne ne se sent responsable de l'application de telles mesures ni d'en contrôler les effets. C'est pourquoi chaque service du personnel devrait nommer un responsable de l'énergie au sein de son service. Il devra prendre des mesures pour économiser l'énergie et contrôler leur efficacité.

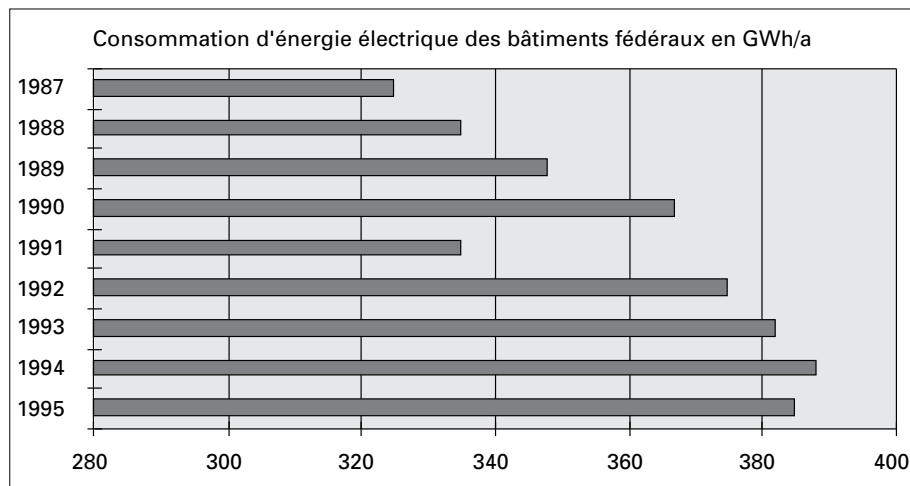


Figure 8.1:  
Consommation d'énergie électrique des bâtiments fédéraux de 1987 à 1995.

### 8.2 Installations techniques du bâtiment

Dans ces installations techniques, il est possible d'économiser beaucoup d'électricité. Souvent, la consommation peut être diminuée de 20% ou plus, en appliquant des mesures simples qui ne coûtent rien ou presque. Pour atteindre ces résultats, il faut, lors de l'exploitation des installations, respecter les principes suivants:

- Arrêter les installations dont le fonctionnement n'est pas nécessaire.

#### **L'énergie non utilisée est économisée !**

- S'assurer qu'en dehors des périodes de chauffage, les pompes de circulation des réseaux de chauffage sont arrêtées.



- En règle générale, une température de 55°C est suffisante pour le boiler.
- Il faut contrôler, et dans la mesure du possible réduire, le débit d'air extérieur des installations mécaniques de ventilation.
- Les puissances de refroidissement, respectivement de chauffage, doivent être optimisées de façon à ne couvrir que les besoins réels.
- Éviter l'utilisation inutile, non rentable ou défectueuse de parties d'installation:
  - diminuer et optimiser le temps d'exploitation;
  - installer des horloges et les contrôler périodiquement;
  - arrêter les pompes de circulation en dehors des heures d'utilisation; arrêter l'humidification inutile.
- Garantir, respectivement assurer un entretien de l'installation respectueux des questions d'énergie:
  - réparer les armatures qui coulent;
  - nettoyer les filtres, les échangeurs de chaleur, les diffuseurs et les canaux;
  - contrôler l'étanchéité et remédier aux éventuels défauts.

Les installations techniques du bâtiment ont la réputation d'être compliquées et de n'être qu'une affaire de spécialistes. Malgré cela, il est possible et même nécessaire que le personnel d'entretien et d'exploitation connaisse le fonctionnement de l'installation et puisse, de façon autonome, effectuer les contrôles, régler et optimiser le temps de fonctionnement ainsi que les valeurs cibles. De plus, il est utile de comprendre les différentes installations techniques. Cette compréhension, associée à l'expérience de l'exploitation, permet d'appliquer avec succès des mesures d'économie d'énergie.

### 8.3 Horloges



#### Généralités

Les horloges sont particulièrement indiquées pour des appareils utilisés par plusieurs personnes et qui, en règle générale, ne sont pas arrêtés le soir. Ce sont principalement des imprimantes et serveurs de réseau, des copieurs, des automates à boissons, etc. Le choix correct de l'horloge a une grande influence sur son acceptation par les utilisateurs. Pour des appareils qu'il faut parfois remettre en marche après l'arrêt, il est impératif d'utiliser une horloge électronique. Celle-ci peut être programmée de façon optimale en fonction des besoins des utilisateurs. Même ainsi, on peut encore facilement enclencher et arrêter les appareils manuellement.

L'horloge intelligente Memo-Switch pour automate à café a été développée avec l'aide de la Confédération. Cette horloge note lorsque l'automate est utilisé, puis en déduit les heures de mise en marche et d'arrêt. Il va de soi que l'utilisateur peut enclencher l'automate manuellement en dehors des heures de fonctionnement.

Si l'utilisateur ne doit pas pouvoir intervenir sur la machine, il faut installer des horloges mécaniques (par exemple automate à boisson, à café). Pour autant qu'une horloge mécanique réponde aux exigences, on peut aussi l'installer sur d'autres machines (copieurs, etc.).



La figure 2 montre la feuille d'information pour l'utilisation d'horloge dans le cas de photocopieurs. De telles feuilles existent aussi pour les imprimantes, ainsi que pour les machines à café. Au verso figure chaque fois des indications pratiques pour l'utilisation des horloges. Un exemple montre comment programmer l'horloge afin que l'appareil raccordé soit utilisé de façon économe.



Pour des économies d'électricité  
dans l'administration fédérale

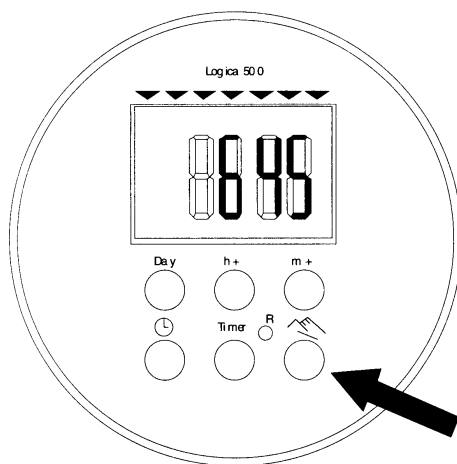
2000

## Heures de fonctionnement du photocopieur

Le matin, le photocopieur doit être enclenché par le premier utilisateur en appuyant *une seule fois* sur la touche ON/OFF de l'horloge (🕒).

Le soir à  heures, le photocopieur se déclenche automatiquement.

Pour utiliser le photocopieur en dehors des heures de fonctionnement, appuyez sur la touche ON/OFF. N'oubliez pas de redéclencher l'appareil lorsque vous avez terminé en appuyant à nouveau sur la touche ON/OFF.



Les modifications des heures de fonctionnement ne peuvent être effectuées que par la personne responsable.

Nom:

Tél.:

**Pour enclencher/déclencher:  
appuyez ici**

**Merci pour votre  
collaboration !**

Un travail effectué en collaboration par les offices :  
OCF, OCFIM, OFEFP, OFEN, OFI  
Groupe de travail *Emploi rationnel de l'électricité*  
dans l'administration fédérale.

Figure 2:  
Feuille d'information pour l'utilisation d'horloge dans le cas de photocopieurs.

Les feuilles d'information pour copieurs et imprimantes munis d'horloge électronique peuvent être commandées à l'OCFIM (M. R. Zollinger, Fax 031/322 39 72).



### ▣▣▣▣▶ **Contrôle des réglages**

Les horloges doivent être contrôlées régulièrement, au moins tous les six mois (ne pas oublier le changement heure d'été – heure d'hiver). Des modifications surviennent souvent lors d'erreurs de manipulation ou lorsque des utilisateurs changent leurs heures de travail et modifient donc les réglages de marche et d'arrêt. Il faut attirer l'attention des utilisateurs sur le fait que les réglages peuvent être modifiés en tout temps, selon les besoins.

Une erreur fréquente lors de manipulation est d'inverser les jours de la semaine (samedi-dimanche au lieu de lundi-vendredi).

Une liste exacte de toutes les horloges installées permet un contrôle efficace; les heures programmées sont-elles encore les mêmes? Les horloges devraient être par exemple contrôlées tous les trois mois par un responsable nommé à cet effet. Les contrôles de routine de l'informatique ainsi que le passage heure d'été – heure d'hiver sont des moments qui se prêtent bien à de tels contrôles.

### ▣▣▣▣▶ **Arrêt en fin de semaine**

Dans la mesure du possible, les appareils munis d'une horloge devraient toujours être arrêtés pendant le week-end (par exemple toutes les imprimantes, les serveurs correspondants, les copieurs, les machines à café, etc.).

### ▣▣▣▣▶ **Accord avec les utilisateurs**

Il faut dans tous les cas déterminer les horaires en accord avec les utilisateurs. Des discussions personnelles permettent d'éliminer certains préjugés!



Informez les utilisateurs sur le réglage manuel de l'horloge. On peut obtenir les **feuilles d'information correspondantes** auprès de l'**OCFIM, 3000 Berne (Fax 031/322 39 72)**.

Il faut afficher ces feuilles d'information à côté de la machine concernée. Au verso de la feuille se trouve chaque fois un exemple de programmation de l'horloge. Suivre cet exemple garantit un usage énergétique judicieux.

### ▣▣▣▣▼ **Programmation des horloges**

Il faut prêter attention aux points suivants:

#### ▣▣▣▣▼ **Horloge pour copieurs**

- Déterminer les horaires avec les utilisateurs.
- Le premier utilisateur doit mettre en marche l'appareil. On ne programmera donc pas d'heure de mise en marche.
- En plus de l'heure d'arrêt principale, il faudrait encore prévoir deux autres heures, plus tard dans la soirée (par exemple 20.00 et 22.00).
- D'autres indications se trouvent encore sur la feuille d'information *Heures de fonctionnement pour copieurs*, qu'on peut obtenir auprès de l'OCFIM 3000 Berne (Fax 031/322 39 72).

#### ▣▣▣▣▼ **Horloge pour automate à café et à boissons**

La Confédération a chargé les livreurs d'automates à café d'équiper leurs appareils de Memo-Switch partout où cela était possible et judicieux. Les appareils neufs sont automatiquement équipés de Memo-Switch.

- Déterminer les horaires avec les utilisateurs.
- En règle générale, une horloge mécanique suffit. Il faut veiller à ce que les appareils restent arrêtés samedi/dimanche (pas d'heure de mise en service).



Si malgré tout, on installe une horloge électronique sur un automate à café, on peut demander la feuille d'information *Horloge pour automates à café* auprès de l'OCFIM 3000 Berne (Fax 031/322 39 72).

- En plus de l'heure d'arrêt principale, il faudrait encore prévoir deux autres heures, plus tard dans la soirée (par exemple 20.00 et 22.00).

#### **Horloges pour imprimantes (réseau) et serveurs**

- Déterminer les horaires avec les utilisateurs et le service informatique.
- Les imprimantes en réseau doivent être mise en marche automatiquement le matin. Programmez les horloges de façon que les appareils ne soient pas mis en service durant le week-end. Si des ordinateurs individuels sont utilisés comme serveur d'imprimantes, ceux-ci peuvent aussi être équipés d'une horloge. Contrôlez aussi la possibilité d'équiper les serveurs de réseau avec des horloges. Demandez pour cela la feuille d'information *Horloge pour imprimantes* auprès de l'OCFIM 3000 Berne (Fax 031/322 39 72).
- En plus de l'heure d'arrêt principale, il faudrait encore prévoir deux autres heures, plus tard dans la soirée (par exemple 20.00 et 22.00).



## 8.4 Eclairage

L'éclairage permet facilement de réaliser des économies d'électricité. Pour cela, il faut observer les points suivants:

- En général, les corridors sont beaucoup trop éclairés. Contrôlez donc s'il est possible d'enlever certains tubes fluorescents (par exemple chaque deuxième ou troisième tube).
- Si les tubes sont doubles, on peut normalement enlever un des tubes sans différence notable.
- Les ampoules à incandescence qui restent allumées longtemps doivent être remplacées par des ampoules économes.
- Dans la mesure du possible, placer dans les toilettes une note «Eteindre la lumière s.v.p.». De telles plaquettes peuvent être commandées à l'OCFIM, 3003 Berne (Fax 031/322 82 78).
- Le choix entre lampe de bureau ou plafonnier est très individuel. En ce qui concerne les économies d'énergie, le choix d'une lampe de bureau se justifie pleinement pour autant que le plafonnier soit éteint. Pour les lampes de bureau, il faut voir s'il est possible d'employer des ampoules économes. Ne pas installer d'éclairage indirect (lampe halogène) dans les bureaux!
- Les places de travail doivent être installées de façon à profiter au maximum de la lumière naturelle. Pour les écrans (moniteurs ou terminaux), il faut tenir compte des deux points suivants:
  1. Installer l'écran contre un mur et non contre une fenêtre (meilleur contraste).
  2. L'utilisateur ne doit pas être assis dos à la fenêtre (évite les reflets).
- Travailler de jour avec les stores fermés et la lumière artificielle est un gaspillage d'énergie! On peut y remédier, par exemple, en modifiant l'emplacement des meubles.

## 8.5 Emploi d'appareils privés

De petits appareils privés sont parfois utilisés dans les bureaux. Dans la mesure du possible, il faut renoncer à utiliser de tels appareils électriques (radiateurs, machines à café, etc.).

**La consommation électrique de tels appareils dans le cadre des bâtiments fédéraux est estimée à 8-12 GWh/a ou encore 1 à 1,5 Mio Fr./a.**



### ► Radiateurs électriques

Ce sont de gros consommateurs d'énergie. En principe, l'électricité ne doit pas être utilisée pour chauffer des bureaux. Comme la notion de confort est très individuelle, il est possible que quelqu'un demande que la température ambiante soit plus élevée. En règle générale, les directives du Conseil fédéral sur l'économie de mazout du 21 novembre 1973 sont déterminantes. La température ambiante est limitée à 20°C au maximum durant la journée. Comme les courants d'air et la température superficielle des parois ont aussi une influence, il suffit parfois de calfeutrer les fenêtres ou de poser un tapis pour améliorer la sensation de confort. Des habits plus chauds aident aussi. Le cas échéant, il faut discuter du problème avec le responsable du chauffage.

### ► Lampes de bureau

Voir éclairage.

### ► Petites machines à café

Suivant les règlements de bâtiment, l'usage de celles-ci en est interdit. S'il est autorisé, il faut attirer l'attention des utilisateurs sur le fait que la machine doit être arrêtée lorsque le café est passé. Pour le garder au chaud, il faut impérativement utiliser une bouteille thermos !

### ► Ventilateurs de table

Ces appareils utilisent peu d'énergie (puissance absorbée 10 à 20 Watt). Il faut tout de même veiller à les arrêter après usage. Mais comme ils génèrent des courants d'air et font beaucoup de bruit, les utilisateurs ne les enclenchent normalement qu'en fonction de leurs besoins !

### ► Radios

La consommation d'énergie de petits postes est très faible (puissance de quelques watts seulement). Mais la plupart des appareils raccordés au réseau utilisent de l'énergie même lorsqu'ils sont arrêtés. Pour des raisons écologiques, il ne faudrait pas utiliser de piles électriques pour les radios.

## 8.6 Mise en pratique des recommandations



Les recommandations ci-dessus vous montrent comment économiser de l'énergie électrique dans un bureau.

### ► Le problème, c'est qu'elles sont très vite oubliées.

Il est donc nécessaire de les répéter régulièrement. Cela vaut la peine, en plus des discussions personnelles, d'afficher bien visiblement les feuilles d'information mentionnées (panneau d'affichage, appareils très utilisés, etc.).

Profitez aussi du soutien que peuvent vous apporter les informaticiens, les organisations ou les collègues déjà sensibilisés à ces questions. Coordonnez et partagez les tâches entre les différents services de votre bâtiment. Le soutien réciproque peut vous faciliter le travail d'information.

L'apparition de conflits entre vous (chargé de l'application de ces mesures) et les autres utilisateurs des locaux peut être un problème supplémentaire. Ceci est connu et des solutions sont actuellement en discussion.





## 9. Les mesures

### 9.1 Les appareils de mesure

#### Les appareils qui se trouvent de toute façon dans votre bâtiment



- Le compteur électrique des SI.
- Le compteur d'eau froide des SI.
- La jauge à mazout ou le compteur de gaz des SI.

#### Les appareils que vous avez peut-être déjà



- Le compteur d'eau sur l'alimentation eau froide du bouilleur.
- Les thermomètres sur vos groupes de chauffage (attention à l'étalonnage souvent défectueux des thermomètres à cadrans, les thermomètres genre Sika sont en général assez justes).

#### Ceux que vous avez toujours sur vous



- Vos mains comme thermomètre de surface simple ou différentiel avec les 2 mains.

#### Les portatifs simples



- Les thermomètres électroniques ou à mercure.
- Les thermomètres mini-maxi.
- Les hygromètres.
- La pince ampèremétrique.
- Le compte-tours (vitesse rotation ventilateurs).
- L'anémomètre à hélice.
- Le manomètre différentiel.

#### Les appareils fixes simples et utiles



- Compteurs d'heures de marche (très bon marché).
- Idem avec impulsions pour nombre de démarrage (cher).
- Manomètres différentiels sur les filtres.

#### Autres appareils



Il existe bien entendu encore une foule d'autres appareils tous plus sophistiqués les uns que les autres. Si vous avez la chance d'en avoir dans votre installation, tant mieux. A notre avis, avec les appareils susmentionnés, on peut déjà faire largement l'essentiel. Il faut seulement un peu réfléchir et faire l'effort de faire certains relevés à la main.

**Une mention particulière toutefois pour l'appareil photo qui se révèle souvent très utile en cas de défectuosités ou de pannes.**



## 9.2 Que peut-on mesurer avec ces appareils

### *Quelques exemples*



#### **Compteur électrique**

- Vous pouvez contrôler la consommation de jour et de nuit, saviez-vous que vous consommiez autant la nuit, quels appareils n'ont pas été arrêtés?
- Contrôle de la consommation de week-end. Personne ne travaille, pourquoi consommer encore autant d'électricité?
- Vous pouvez mettre en relation votre consommation électrique avec la température extérieure, vous verrez ainsi l'influence de la climatisation en été ou du chauffage électrique en hiver.



#### **Compteur de gaz**

- Vous chauffez au gaz, vous pouvez contrôler à l'aide d'un relevé manuel, votre consommation en relation avec la température (relevée par exemple à l'aide d'un thermomètre mini-maxi).
- Regardez votre consommation de gaz en été, elle correspond à ce que vous utilisez pour faire l'eau chaude sanitaire (cette quote-part reste constante toute l'année).
- Si vous ne produisez pas d'eau chaude en été et que vous consommez quand même du gaz, vous avez donc oublié d'arrêter la chaudière.



#### **Jauge à mazout**

- Idem compteur à gaz (mais précision moins grande du fait de l'échelle).



#### **Compteur d'eau froide**

- En relevant matin et soir, vous pouvez connaître la consommation jour/nuit et week-end. Si vous consommez beaucoup la nuit ou le week-end, recherchez pourquoi. Avez-vous des appareils refroidis à eau (machine froid, etc.) qui ne sont pas arrêtés la nuit et le week-end?



#### **Le compteur d'eau froide à l'entrée du chauffe-eau**

- Vous pouvez ainsi vérifier votre consommation d'eau chaude sanitaire le jour, la nuit, le week-end.
- En faisant le bilan sur une courte période, par exemple plusieurs fois en un matin, vous pouvez voir à quel point votre chauffe-eau est surdimensionné et si vous en avez plusieurs, vous pouvez voir combien on peut en arrêter.



#### **Les thermomètres sur les groupes de chauffage**

- Ils vous permettent principalement de voir l'écart de température entre aller et retour. La plupart des installations sont calculées pour un écart de 20° C lorsqu'il fait très froid. Dans la plupart des installations cet écart se révèle beaucoup plus faible lorsqu'il fait très froid, ce qui signifie qu'on véhicule trop d'eau et que des économies substantielles sont possibles au niveau de la consommation électrique des pompes.



### Les thermomètres portatifs



Ils vous permettent de faire toutes les mesures où il n'y a pas de thermomètres fixes, comme par exemple

- température avant et après la batterie de chauffage dans un monobloc;
- température des gaz de fumée;
- etc.

### Les hygromètres



- Attention à la précision dans le temps des appareils bon marché (hygromètres à cheveu principalement). Il faut les ré-étalonner de temps en temps.

### La pince ampèremétrique



- Avec la pince vous pouvez vérifier le courant absorbé par votre moteur. Lorsque le moteur est chargé à 100%, le courant mesuré (dans un système à trois conducteurs et pas à six conducteurs) doit être identique à celui indiqué sur la plaquette du moteur. Si vous mesurez seulement la moitié du courant, le moteur est surdimensionné de plus de 50%.

### Le compte-tours



- Vous pouvez mesurer la vitesse de rotation effective de votre ventilateur, c'est une mesure précise, fiable et facile à faire.

### L'anémomètre à hélice



- Pour la mesure du débit d'air dans les installations de ventilation. On l'utilise ensuite en relation avec la vitesse de rotation et le diagramme du ventilateur concerné pour déterminer la pression de travail du ventilateur et le point de fonctionnement.

### Le manomètre différentiel



- C'est lui qui vous permet de connaître la perte de charges des filtres et des autres parties du réseau. Vous pouvez ainsi faire en quelque sorte un «cadastre» des pertes de charges de votre installation.

### Le compteur d'heures



C'est un instrument extrêmement simple et utile, pour:

- contrôler que vos pompes sont bien arrêtées en été;
- voir si votre brûleur fonctionne suffisamment d'heures par année;
- contrôler que la commande à distance de la ventilation soit bien utilisée et l'installation arrêtée la nuit;
- etc.

### Protocoles de mesures



Il existe un certains nombres de protocoles de mesures tous faits, même déjà sur ordinateurs au format Excel. Voir le chapitre comptabilité énergétique.



### Mise en garde

- Attention à la surabondance des données => évitez les cimetières de données.
- Ne tardez pas pour analyser vos relevés. Ceci vous permettra de déceler cas échéant rapidement les erreurs qu'il pourrait y avoir dans votre méthode de mesure.
- Dans la plupart des cas, on travaille avec trop de données.
- Pour éviter cela, il faut avoir une idée claire du but à atteindre. Le cas échéant, faites une campagne d'essai au préalable.
- Comparez vos valeurs aux valeurs de référence disponibles.

## 9.3 Les sources de mesures toutes faites

On trouve sur le marché un certain nombre de données toutes faites qui peuvent en partie avantageusement remplacer vos propres mesures.



### Les données ISM (Institut Suisse de météorologie)

Krähbühlstrasse 58, case postale 514, 8044 Zurich, tél. 01/256 91 11.  
Pour une somme modique, on peut s'abonner aux relevés qu'on désire.

L'ISM fait des relevés météo dans toute la Suisse sur un certain nombre de sites. Les données principales qu'ils fournissent sont:

- les températures moyennes, min, max et instantanées du jour;
- l'humidité relative;
- le vent en force et direction;
- la nébulosité;
- la pluie, la neige;
- etc.

Ces données sont très utiles, par exemple lorsqu'on veut corréler des consommations électriques en fonction de la température, mais qu'on n'a pas de relevés de la température.



### Les données SIA (Société Suisse des ingénieurs et des architectes)

La SIA offre dans ces diverses publications passablement de données utiles dans le domaine qui nous intéresse:

Documentation D 012 – Meteodaten für die Haustechnik  
(Données météo pour la technique du bâtiment, seulement en allemand)  
Pour les principales villes de Suisse:

- courbes de fréquence de température au cours de l'année;
- déroulement journalier de la température;
- courbes de fréquence en enthalpie au cours de l'année;
- courbes de relation température – enthalpie.



Recommandation SIA 380/1 – L'énergie dans le bâtiment:

- données climatiques synthétiques pour le calcul de la consommation d'énergie de chauffage;
- aussi dans SIA 381/2 où il n'y a que les données climatiques.

Recommandation SIA 381/3 – Les degrés jours en Suisse:

- degrés jours, jours de chauffage et température de l'air, valeurs moyennes portant sur de nombreuses années, mois par mois et annuel.

Recommandation SIA V382/2 – Puissance de réfrigération à installer dans le bâtiment:

- rayonnement solaire global et diffus;
- données de température de l'air, humidité, variation journalière pour le dimensionnement des installations de ventilation, cela pour l'été, l'automne et l'hiver.

**Les données LFEM (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche) (EMPA en allemand), Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, tél. 01/823 55 11.**



Le LFEM peut fournir, contre rémunération, des données météo spéciales, par exemple courbes de fréquence particulières pour dimensionnement de récupérateurs d'humidité, ainsi que des données météo synthétiques telles qu'on les utilise dans les logiciels de simulation dynamique du comportement du bâtiment. Ces données peuvent être utilisées dans un PC au format tableur pour vos propres analyses.



# 10. Mise en service et réception

## 10.1 Avant- propos

Tant la partie mise en service que la partie réception sont formellement décrites dans la norme SIA 118 ainsi que dans la recommandation SIA 380/7 (qui complète la SIA 118).

Le premier programme d'impulsions « Installations techniques du bâtiment » a également consacré une brochure et un cours « Mise en service et réception des installations techniques du bâtiment » à ce sujet (pour les références voir la bibliographie).

On trouve également dans la recommandation SIA V382/1 « Performances techniques requises pour les installations de ventilation et de climatisation » un certain nombre de points qui concernent le présent sujet.

## 10.2 Mise en service



**La mise en service c'est :**

- la fin de la construction ;
- le contrôle de la conformité de tous les éléments prévus dans les plans, les schémas et le cahier des charges, tant en qualité qu'en quantité ;
- contrôle du montage correct et conforme de tous les éléments ;
- contrôle de la conformité aux règles de l'art et aux prescriptions des fabricants et fournisseurs ;
- le contrôle de l'instrumentation prévue ;
- le contrôle du respect des dispositions officielles (CNA, SPI, ASE, etc.) ;
- l'instant de vérité => est-ce que ça va marcher ?
- **le début de la bonne ou de la mauvaise exploitation future.**



**Tout le travail qui n'aura pas été effectué à la mise en service devra en fin de compte être fait par le personnel du maître de l'ouvrage ou alors il ne sera jamais fait**, comme on le découvre souvent vingt ans plus tard en faisant une analyse approfondie de l'installation.

Il est en effet extrêmement fréquent de trouver des divergences très importantes entre la prestation que l'installation aurait dû réaliser et ce qu'elle a effectivement fourni pendant vingt ans et ceci le plus souvent au détriment des intérêts du maître de l'ouvrage.



**Cette façon de faire n'est aujourd'hui plus acceptable, principalement du fait qu'avec un dimensionnement « sans réserve », les installations nécessitent absolument une mise en service précise et approfondie, faute de quoi il sera impossible d'atteindre les performances fixées.**



### Une bonne mise en service c'est, entre autres



- Régler tous les débits d'air et pas seulement la moitié.
- Equilibrer les débits des installations tant aéroliques que de chauffage ou encore de froid.
- **Vérifier et tester** toutes les fonctions du tableau électrique et pas simplement admettre que le contrôle effectué par le fabricant du tableau avant la livraison est suffisant. **Une sécurité non testée n'est pas une sécurité.**
- Vivre les premières périodes de fonctionnement avec l'installation. Ceci est valable non seulement pour l'installateur mais également bien souvent pour l'ingénieur qui se contente trop souvent d'un rôle passif, alors que le concepteur de l'installation c'est quand même l'ingénieur et pas l'installateur.
- Simuler diverses pannes – en particulier celles réputées peu fréquentes, mais qui ont souvent des conséquences désastreuses si on ne les a jamais vécues auparavant – telles que disjoncteurs principaux, panne de groupe électrogène de secours, etc.
- Vérifier le fonctionnement de la régulation en mode statique, mais aussi et surtout en mode dynamique.

### La mise en service dynamique



La mise en service dynamique consiste à contrôler le fonctionnement de l'installation à l'aide d'appareils enregistreurs, soit sur papier, mais aujourd'hui plus généralement via des processeurs d'acquisition de données pendant plusieurs jours, voire plus.

Cette façon de faire permet de voir en particulier:

- le comportement de l'installation en phase transitoire, arrêt, démarrage, changement de régime;
- le comportement en mode nocturne lorsque personne n'est à côté pour voir ce qui se passe. Idem pendant les fins de semaines;
- si les valeurs de consignes réglées sont adaptées dans toutes les situations ou si des économies sont déjà envisageables;
- certaines maladies qu'on ne pourrait même pas déceler avec une mise en service statique;
- **c'est le début de la démarche qui permet de faire progresser les valeurs de réglage de l'installation.**

Aujourd'hui, la mise en service dynamique est encore assez peu utilisée, principalement parce qu'aucune rémunération n'est prévue pour cette prestation, tant chez l'installateur que chez l'ingénieur.

Pour ceux qui ont déjà eu recours à la mise en service dynamique, il est par contre clair que les résultats sont beaucoup plus satisfaisants pour l'installation qu'avec une simple mise en service statique, surtout lorsque comme aujourd'hui on cherche à aller à la limite de l'installation pour éviter des investissements inutiles.

### Mise en service d'installations spéciales



Certaines installations, comme les centres de calculs, nécessitent de procéder à des essais de simulation en grandeur nature. Pour les centres de calcul, par exemple, il faudra installer des batteries électriques qui permettent de recréer à l'échelle 1:1 la consommation électrique et le dégagement de chaleur des ordinateurs. Il est évident que vu les efforts consentis et les garanties à apporter la mise en service devra être effectuée sous forme dynamique.



### **Le futur exploitant et la mise en service**



***Il nous semble extrêmement important – dans son propre intérêt – que l'exploitant participe activement à la phase de mise en service.***

Il pourra en effet:

- se familiariser avec les installations;
- voir les premières pannes et apprendre à réagir en conséquence;
- découvrir des tas de petites imperfections qui pourraient éventuellement autrement passer inaperçues.

## **10.3 Le dossier d'exploitation**

C'est un ensemble de documents qui va évoluer avec l'installation, au gré des réglages, des révisions, des modifications. Il s'agit à la fois d'un guide d'utilisation et d'un carnet d'entretien.

Ce chapitre suggère quelques dispositions essentielles relatives à ce dossier.



### **Quand la question du dossier d'exploitation se pose-t-elle ?**

- *Lors de la conclusion du contrat d'ingénieur.*  
Ce dernier peut être chargé de constituer le dossier avec les documents remis par l'entreprise.
- *Lors de l'appel d'offre/lors de la commande.*  
Le cahier des charges doit faire mention du dossier et des documents qui seront demandés à l'entreprise. Le contenu du dossier sera également spécifié. Si cela n'a pas été fait, il est également possible d'en convenir avec l'entreprise avant la commande des travaux. Une spécification écrite permet aux partenaires de conserver une trace de ce qui devra être élaboré quelques mois plus tard.
- *Lors de la vérification commune.*  
Idéalement, le dossier doit être remis à ce moment. Dans la pratique, il arrive fréquemment que les documents de révision ne soient pas tous remis au propre à ce moment. Il importe néanmoins que le dossier soit déjà constitué en un exemplaire et remis à l'exploitant pour examen au moins une semaine avant la vérification commune. L'exploitant sera ainsi en mesure de communiquer son approbation. D'autre part, un dossier bien fait améliorera les connaissances préalables de l'exploitant sur l'installation dont il aura la charge.
- *Avant de signer l'arrêté de compte.*  
L'exploitant vérifiera qu'il a bien reçu le nombre convenu de dossiers complets.



### **Quelle forme adopter ?**

Le classeur fédéral et, si nécessaire, des boîtes d'archives pour les plans et schémas. Il vaut mieux un classeur peu rempli (petite installation) qu'un simple cahier broché que vous ne sauriez où et comment classer.

Cependant, si vous désirez réunir plusieurs installations dans un seul classeur, vous pouvez adopter d'autres formes. Pensez qu'il doit être possible de rajouter ou modifier une page.





### Quel contenu ?



Ces documents s'adressent à des tierces personnes, il est indispensable qu'ils soient particulièrement explicites :
















- uniformisation des nomenclatures, désignations et symboles ;
- conformité de ceux-ci avec l'étiquetage sur place ;
- limitation des jargons professionnels ;
- traduction dans la langue officielle locale.

**Appliquez toujours le même canevas.** Si certains chapitres ne se justifient pas, ils seront simplement vides. Ceci permet à l'exploitant de trouver rapidement les informations qu'il cherche, même si l'installation n'est pas connue.

Pour les grandes installations, fractionnez le dossier (plusieurs classeurs ou classeurs + boîtes d'archives), en prenant soin d'inventorier l'ensemble du dossier dans le classeur de référence.

Une forme toute ou partiellement informatisée est également possible mais, dans l'état actuel, il est conseillé de conserver au moins une base papier.

### ***Nous vous proposons d'appliquer, par exemple, le sommaire suivant :***

1. Instructions de service. 
2. Liste d'adresses, numéros de téléphone, télécopieurs, télex. 
3. Description générale de l'objet avec situation des centrales et sous-stations, base de calcul. 
4. Description technique des installations avec conception, puissance et d'autres données techniques, diagrammes, schémas de principe et de fonction, concept énergétique prévu. 
5. Spécification des appareils avec désignation du type données techniques (pompes avec feuille de courbe et point de fonctionnement indiqué, ventilateur avec courbe et point de fonctionnement, confirmation de commande des monoblocs). 
6. Spécification détaillée des organes de régulation, avec désignation des objets et indications des valeurs réglées. 
7. Descriptif de fonctionnement détaillé (par exemple fluxgrammes) avec des systèmes d'alarme et de sécurité. 
8. Instruction de mise en service et de fonctionnement été/hiver et liste de pointage des manœuvres. 
9. Liste des mesures conservatoires à prendre en cas de panne des fonctions automatiques, pour assurer la production ou éviter des dégâts. 
10. Plans journaliers, hebdomadaires, mensuels, etc., concernant les contrôles, révisions, graissages, entretiens, etc., avec fréquence des contrôles et formules. 
11. Rapports d'inspection, protocoles d'essai et de mise en service, rapports des contrôles après mise en service et stabilisation. 
12. Liste des pièces de rechange à stocker, éventuellement avec taux d'utilisation, stock minimal, quantités à commander, délai de livraison. 
13. Schéma(s) électrique(s). 
14. Liste des plans et schémas de révision. 
15. Liste des dessins d'atelier des pièces spéciales. 



### Combien d'exemplaires ?

#### **Le moins possible !**

Il est inutile de disposer de trois dossiers qui ne seraient pas tenus à jour. L'organisation de l'exploitant et le genre de site peuvent jouer un rôle. Même si tous les dossiers d'un site sont regroupés dans le bureau technique de la maintenance, certains documents doivent se trouver sur l'installation (schéma électrique dans le tableau).

#### **En principe :**

- Un exemplaire pour l'ingénieur. Si l'exploitant ne dispose pas d'une organisation technique suffisante, il peut remplir le rôle de l'exemplaire d'archivage.
- Pas d'exemplaire pour l'architecte. A moins qu'il ne remplace celui de l'ingénieur.
- Un exemplaire pour archivage. Même s'il n'est pas tenu à jour, il peut « dépanner ».
- **Un exemplaire sur l'installation ou dans le bureau technique de la maintenance. C'est le dossier de référence. Il doit toujours se trouver à sa place entre deux usages. Tout intervenant doit pouvoir le consulter. Il appartient à l'installation et non à une personne. Il est cependant judicieux qu'une personne en soit responsable. Il ne quitte jamais le site.**



## 10.4 La réception

**L'aspect formel est nécessaire** afin d'éviter des flous qui, en cas de problème majeur (avec incidence économique, voir de responsabilité civile), peuvent avoir de graves conséquences.



Nous rappelons que la **RÉCEPTION** est un « **jugement** » (ou un état de fait) qui signifie que **l'installation a été remise au maître de l'ouvrage**.

### La vérification commune

La norme SIA 118 recommande vivement aux parties de dresser un **procès-verbal de vérification** et de le signer (art. 158 al. 3). C'est en effet le meilleur moyen de preuve des opérations effectuées, des déclarations et réserves des parties.



#### **Ce procès-verbal devrait en particulier mentionner :**



- la liste des opérations et contrôles effectués ;
- la liste des documents d'exploitation remis ;
- la liste des documents manquants et les délais pour les fournir ;
- la liste des réserves pour défauts avec clauses de levées et délais ;
- la liste des réserves pour performances avec clauses de levées et délais ;
- les contrats de garantie ;
- les éventuels contrats d'entretien et d'exploitation ;
- la date, le nom et la signature autorisée de l'entrepreneur et du maître de l'ouvrage ou/et de sa DT.



**La Direction des travaux est présumée avoir tacitement renoncé à invoquer les défauts connus qui ne sont pas mentionnés dans le procès-verbal de vérification.**

**Il est vivement recommandé aux parties d'utiliser et d'appliquer strictement les procès-verbaux existants SICC 88-1.**



### La réception



La vérification commune fait généralement ressortir un certain nombre de défauts à corriger ou de finitions et retouches à effectuer.

Ceci peut amener à trois types de conclusions:

1. L'installation peut être reçue sans autres (sans défauts).
2. L'installation peut être reçue moyennant certaines réserves (défauts mineurs).
3. L'installation n'est pas apte à être reçue (défauts majeurs).

### La réception a les effets suivants :

- **Le transfert de garde**

Dès ce moment, le maître de l'ouvrage doit prendre toutes les mesures nécessaires pour protéger la vie et la santé des personnes, sa propriété et celle des tiers, devoirs qui jusqu'alors incombent à l'entrepreneur (art. 103 SIA 118).

- **Le transfert de risques**

L'entrepreneur ne supporte plus le risque de détérioration ou de perte de l'ouvrage par cas fortuit (art. 187 SIA 118), c'est-à-dire qui est la conséquence d'un pur hasard, sans qu'aucune faute ne soit imputable à une des parties ou à ses auxiliaires.

- **Le délai de garantie et le délai de prescription commencent à courir** (art. 172 al. 2 et 180 al. 1 SIA 118).

- L'entrepreneur doit présenter le décompte final dans un délai de deux mois (art. 154 SIA 118).

La réception n'a en revanche pas les effets de l'acceptation. Le maître de l'ouvrage conserve en effet le droit de se prévaloir des défauts qu'il n'a pas acceptés expressément ou tacitement.



# 11. Contrats d'entretien

## 11.1 Le contrat d'entretien

### ■ ■ ■ ■ ► **But du contrat d'entretien**

Dans le cadre du contrat d'entretien, le propriétaire de l'installation confie à un tiers l'entretien de son installation contre rémunération.



**L'entreprise de maintenance est un maillon important de la chaîne de diminution de la consommation d'énergie des installations CVC, car elle est souvent la seule qui côtoie l'installation une fois qu'elle est en service et ceci pour une longue période pendant laquelle des tas de choses se modifient, dérivent, se détériorent ou s'usent, lentement, sans qu'un œil non averti s'en aperçoive.**

### ■ ■ ■ ■ ► **Problématique des contrats d'entretien actuels**

A l'heure actuelle la plupart des contrats de maintenance ne prévoient que le contrôle de l'intégrité physique de l'installation :

- nettoyage ;
- état des courroies, roulements, etc. ;
- fuites d'eau, d'air ;
- contrôle ponctuel de la régulation (la vanne ouvre quand on met plus chaud et inversement quand on met plus froid) ;
- contrôle des fonctions électriques du tableau.

**Au sens de RAVEL, ce niveau de maintenance n'est aujourd'hui plus suffisant.**

### ■ ■ ■ ■ ► **Quelles prestations supplémentaires faudrait-il prévoir dans le contrat d'entretien ?**

Aujourd'hui il faudrait également contrôler l'intégrité de fonctionnement et l'intégrité de performances, ceci comprend :

#### ***Intégrité de fonctionnement***

- Si les besoins ou l'affectation changent, l'installation doit être adaptée.
- La prestation fournie par l'installation est-elle nécessaire sous sa forme actuelle, peut-elle être diminuée, voire supprimée ?
- Que faut-il, le cas échéant, changer pour diminuer la consommation d'énergie de la prestation ?
- Les horaires de fonctionnement utilisés sont-ils tout au moins plausibles !
- Les valeurs de consigne utilisées sont-elles réalistes ?
- Contrôle des incohérences => chauffer pour refroidir ensuite, déshumidifier pour humidifier derrière, etc.

#### ***Intégrité de performances***

- Les débits d'air, d'eau, etc. qui circulent sont-ils encore présents ? (Contrôle à faire tous les deux à trois ans par exemple.)
- Contrôler la régulation non seulement ponctuellement, mais dans son cycle de fonctionnement dynamique.



## 11.2 Que doit comprendre le contrat d'entretien ?

### Informations de base indispensables



#### **Données de base**

- Nom du propriétaire de l'installation ou de son représentant (gérance).
- Adresse précise de l'installation.
- Nom de la personne de contact sur place.
- Adresse de facturation.

#### **Installations**

- Listing précis des installations et de leur emplacement.
- Fréquence des visites.

#### **Finances**

- Coût du contrat.
- Adaptation du montant du contrat au cours du temps.
- Mode de paiement.
- Durée du contrat et délai de résiliation.
- Coût de la main-d'œuvre et des déplacements pour prestations hors contractuelles (typiquement réparations).

#### **Matériel de remplacement**

- Matériel de remplacement compris dans le contrat (par exemple filtres, courroies, etc.)
- Montant des pièces hors contrat que l'entreprise de maintenance peut remplacer sans offre préalable au client.

#### **Limite des prestations**

- Limites des prestations comprises dans le contrat: seulement visites d'entretien planifiées à l'avance, visites + dépannages (= en général seulement diagnostic de pannes et petites réparations faisables sur le champ), visites + dépannages + réparations.
- Prestations non comprises.

#### **Garanties, responsabilités**

- Limites de responsabilité, en particulier dans le cas d'équipements de production.
- Garanties de l'entreprise quant aux délais d'intervention (semaine, nuit, fins de semaines, etc.).
- Période horaire pendant laquelle sont effectuées les visites d'entretien planifiées à l'avance.

### Informations qui seraient nécessaires (mais qu'on ne trouve en général pas)



#### **Détail des prestations à effectuer**

- Détail des prestations à fournir par installation (surtout s'il y en a plusieurs), peut par exemple être fait sur la base de la liste Eurovent 6/7 ou VDMA (voir chapitre 2.3).
- Fréquence des prestations (peuvent être différentes suivant l'équipement ou la partie d'équipement considérée).

En travaillant avec des listes spécifiques à chaque installation, on a du même coup l'avantage d'avoir déjà une partie du rapport d'entretien (voir plus loin).



### **Entretien effectué par le propriétaire ou son personnel**

- Part d'entretien prise en charge par le personnel du propriétaire.
- Part du matériel d'entretien fournie par le propriétaire.

### **Informations à transmettre au client après chaque contrôle**

- Travaux exécutés.
- Liste exacte des pièces changées comprises dans le contrat.
- Liste exacte des pièces hors contrat changées (avec numéro par exemple de la position dans le schéma électrique).
- Description de l'état des installations.
- Réparations auxquelles il faut s'attendre prochainement, avec estimation des montants (permet de planifier les budgets de travaux hors contrat).
- Le cas échéant liste du matériel d'entretien courant que doit commander le propriétaire (si convenu).
- Améliorations à apporter au fonctionnement de l'installation pour l'améliorer (diminution consommation d'énergie, diminution des frais d'entretien, augmentation du confort, suppression de prestations inutiles).



### **Passage en revue de certains points du contrat**

#### **Fréquence des visites**

- Elle dépend bien entendu de l'usage des installations. L'approche ne sera pas la même si l'installation fonctionne 2500 h/a ou 8000 h/a.
- Elle dépend également de sa complexité. On pourra par exemple contrôler une simple aspiration de WC 1 x/an. D'autres installations nécessitent 2 contrôles/an, voire plus, certaines même 1 x/mois.



**Il importe donc de bien définir si tous les contrôles prévus sont nécessaires et les travaux qui seront faits à chaque fois.**

#### **Coût du contrat**

Les facteurs principaux d'influence sont:

- fréquence des visites;
- prestations demandées;
- proximité du lieu de domicile de l'entreprise de maintenance;
- accessibilité physique des installations (toits en pente, caniveaux, etc.);
- accessibilité temporelle des installations (installations qu'on ne peut arrêter qu'en dehors des heures de travail, etc.);
- travail de nuit ou de fin de semaine;
- matériel fourni par l'entreprise de maintenance selon contrat;
- part du coût prévu pour le dépannage;
- limite entre dépannage et réparation.

#### **Mode de facturation**

Plusieurs possibilités sont envisageables:

- par avance au début de l'année contractuelle;
- à la fin de chaque année contractuelle;
- semestriellement;
- après chaque intervention.



## 11.3 Comment contrôler les travaux effectués par l'entreprise de maintenance

### Prestations de l'installation



Nous partons du principe que l'entreprise de maintenance effectue son travail correctement. **Cependant, sur des installations complexes, il est vraisemblable que le but global de l'installation échappe au personnel chargé d'une maintenance partielle.**

**Exemple :** Celui qui détartre une tour de refroidissement n'est en général pas en mesure d'en évaluer tous les impacts sur la machine frigorifique dont elle évacue la chaleur.

**Il appartient donc à l'exploitant de maîtriser l'ensemble de l'installation. C'est également lui qui devra adapter le contrôle des travaux en fonction du contexte => l'exploitant devrait donc avoir une idée claire de son installation.**



### Connaissance du contrat



L'exploitant doit connaître le contrat qui le lie à son entreprise de maintenance, il devrait d'ailleurs participer à son élaboration. Ceci lui permet de vérifier aussi bien la pertinence des prestations prévues que la qualité des prestations effectuées ou encore leur fréquence.

### Adaptation du contrat



Des contrôles effectués par l'exploitant peuvent découler des modifications de contrat augmentant ou diminuant les prestations.

**Exemple :** Lors d'un contrôle, il a été constaté qu'une entreprise de maintenance n'était passée que six fois durant une année, au lieu des huit passages convenus.

L'état de l'installation n'en ayant pas souffert et aucune panne ne s'étant produite, le contrat a été diminué en conséquence et l'entreprise remboursa une partie du montant de l'année.

### Coût et prestations effectives



Chaque entreprise doit gagner suffisamment pour couvrir ses frais et dégager une marge bénéficiaire. L'exploitant doit toutefois contrôler, facture à l'appui, que les tarifs appliqués sont raisonnables.

**Exemple :** Si l'entretien d'un climatiseur, facturé Fr. 500.- par an, ne nécessite qu'un passage de deux heures et ne comprend ni les pièces, ni les dépannages, ni le temps et les frais de déplacement, ceci donne un prix de Fr. 250.-/h. Raisonnable ?

### Procédure de visite usuelle



#### Annnonce de visite

- Selon coordination téléphonique ou avis de l'entreprise. Ceci permet à l'exploitant de prendre les dispositions appropriées et de **rester disponible**.



### **Arrivée de l'entreprise**

- Hormis l'ouverture des locaux et l'exécution des manipulations nécessaires, cette étape permet à l'exploitant de communiquer ses remarques sur le fonctionnement de l'installation.
- Elle lui permet également d'au moins savoir que l'entreprise est venue !

### **Exécution des travaux**

- Si ceux-ci durent plusieurs heures, voire plusieurs jours, l'exploitant recueillera des informations sur l'état de son installation, sur l'utilité des opérations de maintenance et sur les travaux éventuels à prévoir.

### **Départ de l'entreprise**

- L'exploitant doit alors quittance la fiche de travail. Il est important qu'il y consigne ses éventuelles remarques.
- **C'est également l'occasion de recueillir les commentaires du (des) monteur(s) de l'entreprise.**
- L'exploitant doit aussi vérifier que l'installation a bien été remise en fonctionnement normal.

### **Examens du rapport de travail et/ou des protocoles de mesure**

- Il est ainsi possible d'identifier des signes de bon ou de mauvais fonctionnement.

### **Vérification de la facture**

- Contrôle du matériel changé compris dans le contrat.
- Contrôle de l'éventuelle main-d'œuvre hors contractuelle.
- Contrôle des pièces remplacées hors contractuel.



### **Contrôle du travail de l'entreprise de maintenance**

Selon les cas, les vérifications seront complètes ou partielles. Il faut toujours effectuer au moins un pointage sur l'installation, ceci pour deux raisons :

- l'exploitant connaît « son » installation et peut ainsi détecter un signe de bon ou mauvais fonctionnement ;
- la juste confiance implique un contrôle – même sommaire – pour être reconduite.

#### **A contrôler dans tous les cas**

- La fiche de travail. Le temps passé, les pièces utilisées (permet de voir si les mêmes pièces se détériorent fréquemment), etc.
- Les valeurs ou/et remarques des rapports de travail et/ou des protocoles de mesures.
- Les inscriptions sur les éventuelles fiches se trouvant sur l'installation.
- La facture.

#### **A contrôler périodiquement**

- L'état et le fonctionnement avant le passage de l'entreprise. Relever les valeurs de référence.
- La propreté après la maintenance.
- L'état de fonctionnement après le passage de l'entreprise.
- **Relever les valeurs de référence et les comparer à celles prises précédemment.**
- **Un point de contrôle spécifique qui démontre à l'exploitant la qualité du travail effectué.**





**A contrôler occasionnellement**

- Comparer le temps facturé par l'entreprise au temps effectivement passé.
- **La fréquence des passages par rapport à la fréquence contractuelle.**
- La dérive des valeurs de référence entre deux visites.
- Observer la méthode de travail du personnel durant quelques minutes ou durant une opération délicate.
- L'effet d'une opération de maintenance (consommation, fréquence des pannes et incidents, respect des consignes, etc.).
- Si des « détails » dérangent l'exploitant, prendre contact avec le responsable de l'entreprise de maintenance.



## 12. La comptabilité énergétique

Nous allons voir ici comment faire une comptabilité énergétique extrêmement simple, inspirée des méthodes de mesures décrites dans le chapitre 8.

Il s'agit en fait plutôt de se créer un **tableau de bord** – un peu comme dans votre voiture – qui vous permette de vérifier très rapidement si vous êtes dans la **zone rouge** ou non => **la facilité d'interprétation est essentielle pour que la surveillance soit faite à long terme.**

Pour que votre tableau de bord soit aisément lisible, il faut transposer les chiffres de votre relevé sous forme graphique. Vous aurez ainsi plus de facilité à définir votre **zone rouge**.

### 12.1 Quels relevés peut-on utiliser

A priori n'importe lesquels, mais en particulier:

- relevés des compteurs d'heures de marche: brûleurs, pompes, ventilateurs, machines frigorifiques, etc.;
- relevés de consommation de mazout, gaz, etc.;
- relevés des compteurs électriques: actif, réactif, haut tarif, bas tarif, etc.

#### Exemple:

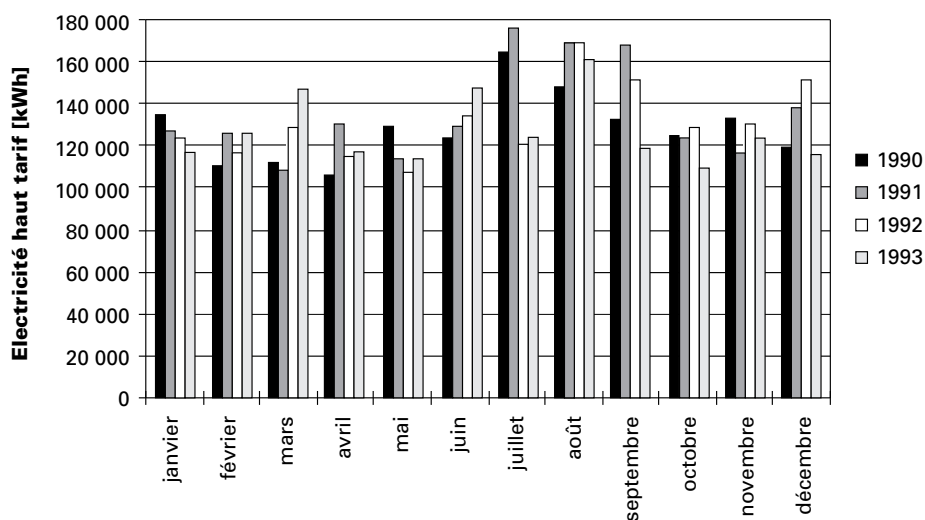


Figure 12.1:  
Consommation électrique  
haut tarif [kWh] d'un grand  
magasin.

Ici on utilise simplement comme «zone rouge» la consommation du même mois de l'année précédente ou aussi celle du mois précédent.

Dans le cas de ce magasin, la personne responsable reporte simplement mois/mois les kWh de la facture sur un tableau Excel. Elle fait de même pour le bas tarif, le réactif et la puissance.



## 12.2 Les zones rouges

### Les zones rouges simples



- La consommation ou le nombre d'heures de marche du mois précédent.
- La consommation ou le nombre d'heures de marche du même mois de l'année précédente.

Rien ne vous empêche de durcir petit à petit votre zone rouge en fonction de vos expériences et de vos objectifs.

### Les zones rouges plus complètes



Ces zones rouges font références à des valeurs limites et valeurs cibles qu'on trouve par exemple dans :

- recommandation SIA 380/1 « L'énergie dans le bâtiment » = valeurs de consommation pour l'énergie thermique ;
- recommandation SIA 380/4 « L'énergie électrique dans le bâtiment » = valeurs de consommation pour l'énergie électrique, le nombre d'heures de marche.

Ici la démarche est un peu plus complexe dans la mesure où les consommations sont données par m<sup>2</sup> de surface au sol, vous devrez ainsi convertir les valeurs spécifiques à vos surfaces pour avoir une valeur exprimée en litres de mazout par exemple.

## 12.3 Tableaux de bord à créer

Il vous faut d'abord vous créer des tableaux de bord pour les consommateurs les plus importants de votre installation ou pour ceux qui vous coûtent le plus cher.

### Les tableaux de bord suivants nous semblent indispensables



- énergie de chauffage globale pour le bâtiment ;
- énergie électrique globale pour le bâtiment ;
- eau froide globale pour le bâtiment.

A priori, un relevé mensuel est suffisant pour un suivi global à long terme. Il est par contre souhaitable dans certaines périodes de faire des relevés journaliers ou bijournalier (voir chapitre 8), car cela permet de découvrir des différences de consommation entre jour et nuit, entre semaine et week-end. Vous serez certainement étonnés au début de voir combien de choses restent en service la nuit ou le week-end et qu'on pourrait en fait arrêter.

### En complément vous pouvez faire des tableaux de bord pour des points plus détaillés



- Heures de fonctionnement de vos ventilations (vous pourrez ainsi tout de suite voir si l'horloge se dérègle).
- Heures de fonctionnement de vos pompes (pourquoi ne sont-elles pas arrêtées en été ?).



- Vous pouvez aussi commencer à faire des comparaisons de consommation ou d'heures de marche en fonction de la température extérieure. Vous verrez par exemple l'influence de la consommation électrique due aux machines froid (voir chapitre 8 pour les sources de mesures toutes faites ; vous pouvez aussi relever la température chez vous avec un simple thermomètre, matin et soir par exemple).

### 12.4 Avant de vous mettre à l'œuvre, tenez compte des points suivants



- Avant de commencer, il faut avoir une idée très claire des résultats qu'on désire obtenir.
- Faire au début un « run » d'essai avec peu de données pour tester la validité de la démarche => permet de corriger le tir, ce qui est souvent indispensable.
- Ne pas attendre pour interpréter les données => vous n'aurez ensuite plus aucune envie de traiter les données => vous aurez un « cimetière de données ».
- Il vaut mieux avoir peu de données bien interprétées que beaucoup de données sans analyse.

### 12.5 Pour ceux qui veulent faire une comptabilité énergétique détaillée

Il existe deux publications RAVEL qui traitent de ce sujet:

- « Saisie des données de consommation d'énergie, manuel pour entreprises industrielles et artisanales », à commander à l'OCFIM, N° de commande 724.371.1 f.
- « Saisie des données de consommation d'énergie, instructions pour le délégué », à commander à l'OCFIM, N° de commande 724.371.2 f.

Ces deux publications sont à utiliser conjointement, car elles se complètent mutuellement. Tous les tableaux de saisie pour les principaux vecteurs énergétiques sont déjà prêts, vous n'avez plus qu'à les photocopier. Vous pouvez également en complément commander la disquette Excel avec tous les tableaux et les graphiques d'évaluation déjà préparés. Les disquettes existent pour format DOS et pour format Macintosh, N° 724.371.11 f.



# Bibliographie

## Chapitre 1

### Contenu et but de la documentation

- [1.1] Manuel RAVEL  
*L'électricité à bon escient*  
*Ce qu'il faut connaître en matière d'utilisation rationnelle de l'électricité*  
 OFQC, ISBN 3-905233-12-6, 1993, N° OCFIM 724.302 f

*Ici aussi toutes les références non directement en relation avec un chapitre:*

- [1.2] Electricité et chaleur:  
*Couplage chaleur-force, pompes à chaleur, récupération de chaleur et utilisation des rejets thermiques*  
 Publication RAVEL, N° OCFIM 724.354 f
- [1.3] Electricité et chaleur:  
*Récupération de chaleur et utilisation des rejets thermiques*  
 Publication RAVEL, N° OCFIM 724.355 f
- [1.4] Electricité et chaleur:  
*Données fondamentales*  
 Publication RAVEL, N° OCFIM 724.357 f
- [1.5] *Manuel de l'industrie*  
*Notions et données d'économie énergétique*  
 Publication RAVEL, N° OCFIM 724.370 f
- [1.6] *Guide «énergie» pour les magasins d'alimentation*  
 Publication RAVEL, N° OCFIM 724.323 f
- [1.7] *Commande et régulation des installations de chauffage et de ventilation*  
 Programme d'impulsions «Installations techniques du bâtiment»  
 OFQC, N° OCFIM 724.606 f, 1986
- [1.8] Recknagel, Sprenger, Hönmann  
*Manuel pratique du génie climatique*  
 Pyc Edition Paris, édition 1986, ISBN 2-85330-084-6

## Chapitre 2

### Démarche de l'optimisation

- [2.1] Eurovent 6/7  
*Guide pour l'entretien des installations de traitement d'air*  
 Secrétariat général Eurovent, Fabrimetal, Rue des Drapiers 21,  
 1050 Bruxelles, Belgique
- [2.2] VDMA 24186  
*Partie 1: Installations de ventilation et climatisation*  
*Partie 2: Installations de chauffage*  
*Partie 3: Installations frigorifiques*  
 (Ces listes d'entretien n'existent qu'en allemand)  
 Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebau, Beuth Verlag Berlin



# 3

## Chapitre 3 Ventilation

- [3.1] RAVEL  
*Installations de ventilation énergétiquement performantes*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.307 f
- [3.2] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Performances techniques requises pour les installations de ventilation et de climatisation*  
Recommandation SIA V382/1, édition 1992
- [3.3] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Puissance de réfrigération à installer*  
Recommandation SIA V382/2, édition 1992
- [3.4] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Preuve des besoins pour les installations de ventilation et de climatisation*  
Recommandation SIA V382/3, édition 1992
- [3.5] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Installations de ventilation pour locaux de parcage de véhicules totalement fermés*  
SICC 90-1 F, SN-N° 546 390-1
- [3.6] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Systèmes de récupération de chaleur*  
SICC 89-1 F
- [3.7] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Installations de ventilation des piscines couvertes*  
SICC 85-1 F
- [3.8] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Examen, classification et utilisation des filtres à air*  
SICC 84-2 F
- [3.9] J. Lexis  
*Pratique des ventilateurs*  
Les Editions Parisiennes, 1991, ISBN 2-86 243 029-3
- [3.10] I. E. Idel'cik  
*Mémento des pertes de charges*  
Editions Eyrolles, 3e édition française 1986, 496 pages,  
ISBN 2-212-05900-0
- [3.11] Danfoss  
*L'essentiel sur les variateurs de vitesse*  
1<sup>er</sup> tirage, édition 1991  
A commander auprès de Danfoss Werner Kuster SA
- [3.12] American Conference of Governmental Industrial Hygienists  
*Industrial Ventilation, 20th Edition*  
ISBN 0-936712-79-1

# 4

## Chapitre 4 L'air comprimé

- [4.1] \_\_\_\_\_



## Chapitre 5 Le froid

- [5.1] Idem chapitre 3

## Chapitre 6 Chauffage

- [6.1] *Dimensionnement et exploitation optimale des circulateurs*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.330 f
- [6.2] *Pompes de circulation – Approche pragmatique pour diminuer la puissance installée et l'énergie consommée*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.397.11.55 f
- [6.3] *Pompes à chaleur – Planification, construction et exploitation*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.356 f
- [6.4] *Couplages chaleur-force: CCF compacts à moteur à gaz*  
*Planification, construction et exploitation*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.358 f
- [6.5] *Dimensionnement et remplacement de chaudières*  
Programme d'impulsions «*Installations techniques du bâtiment*»  
OFQC, N° OCFIM 724.611 f, 1986  
(épuisé, à photocopier chez vos collègues)
- [6.6] *Equilibrage hydraulique des chauffages centraux*  
Programme d'impulsions «*Installations techniques du bâtiment*»  
OFQC, N° OCFIM 724.620 f, 1990
- [6.7] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Isolation thermique des conduites, canalisations et réservoirs du bâtiment*  
Recommandation SIA 380/3, édition 1991
- [6.8] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Installations de chauffage central*  
Norme SIA 384/1, édition 1991
- [6.9] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Dispositifs de sécurité pour les installations de chauffage*  
SICC 93-1 F
- [6.10] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Traitement des eaux destinées aux installations de chauffage, vapeur et climatisation*  
SICC 88-4 F
- [6.11] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Schémas de raccordement hydrauliques pour installations de chauffage, de ventilation et de climatisation*  
SICC 79-1 F
- [6.12] Robert Petitjean – Tour & Andersson AB  
*L'équilibrage hydraulique global*  
Tour & Andersson AB, division robinetterie, Ljung - Suède  
ISBN 91-630-2628-7, à commander chez Huber technique de chauffage et sanitaire à Renens/VD

5  
6



# 7

## Chapitre 7 L'eau chaude sanitaire

- [7.1] *Production d'eau chaude à l'électricité*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.349 f
- [7.2] *Production d'eau chaude solaire, dimensionnement, montage, mise en service, entretien*  
Publication PACER, N° OCFIM 724.213 f
- [7.3] *L'eau dans les installations du bâtiment*  
Programme d'impulsions « *Installations techniques du bâtiment* »  
OFQC, N° OCFIM 724.613 f, 1988
- [7.4] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Qualités de l'eau et performances des installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques*  
Norme SIA 385/1, édition 1982  
+ compléments SIA 385/11, édition 1990
- [7.5] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Alimentation du bâtiment en eau chaude sanitaire*  
Recommandation SIA 385/3, édition 1991

# 8

## Chapitre 8 Electricité

- [8.1] RAVEL  
*Eléments d'éclairagisme*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.329.1 f
- [8.2] *Eclairage des bureaux*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.329.2 f
- [8.3] *Eclairage dans l'industrie*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.329.3 f
- [8.4] *Eclairage des surfaces de vente*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.329.4 f

# 9

## Chapitre 9 Les mesures

- [9.1] *Mesures in situ en énergétique du bâtiment*  
Programme d'impulsions « *Installations techniques du bâtiment* »  
OFQC, N° OCFIM 724.619 f, 1989
- [9.2] *Le mesurage dans les installations de chauffage, ventilation et climatisation*  
Programme d'impulsions « *Installations techniques du bâtiment* »  
OFQC, N° OCFIM 724.607 f, 1986
- [9.3] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Les degrés-jours en Suisse*  
Recommandation SIA 381/3, édition 1982
- [9.4] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Meteodaten für die Haustechnik*  
Documentation D012, janvier 1987





## Chapitre 10 Mise en service et réception

- [10.1] *Mise en service et réception des installations techniques du bâtiment*  
Programme d'impulsions « *Installations techniques du bâtiment* »  
OFQC, N° OCFIM 724.605 f, 1985
- [10.2] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction*  
Norme SIA 118, édition 1977, réédition 1991
- [10.3] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*Le domaine des installations du bâtiment*  
*Compléments apportés à la norme 118*  
Norme SIA 380/7, édition 1985
- [10.4] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Protocole de réception pour les installations de chauffage, de ventilation, de froid et de pompe à chaleur*  
SICC 88-1 F

## Chapitre 11 Contrats d'entretien

- [11.1] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Maintenance des installations de ventilation*  
SICC 95-2 F, en vente environ à fin 1996  
(remplace directive SICC 80-4 partie ventilation)
- [11.2] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Calcul des coûts d'exploitation des dispositifs thermotechniques*  
SICC 88-3 F
- [11.3] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Calcul des coûts d'exploitation des installations frigorifiques*  
SICC 83-4 F
- [11.4] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Calcul des coûts d'exploitation des équipements de traitement d'air*  
SICC 83-2 F

## Chapitre 12 Comptabilité énergétique

- [12.1] *Saisie des données de consommation d'énergie*  
*Manuel pour entreprises industrielles et artisanales*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.371.1 f
- [12.2] *Saisie des données de consommation d'énergie*  
*Instructions pour le délégué*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.371.2 f
- [12.3] *Analyse de la consommation d'énergie*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.318 f



- [12.4] *Une économie d'argent*  
*Guide pratique pour les calculs de rentabilité*  
Publication RAVEL, N° OCFIM 724.397.42.01 f
- [12.5] *Coûts externes et surcoûts inventoriés du prix de l'énergie*  
*dans le domaine de l'électricité et de la chaleur*  
Publication PACER, N° OCFIM 724.270.7 f
- [12.6] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*L'énergie électrique dans le bâtiment*  
Recommandation SIA V380/4, édition 1995
- [12.7] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*L'énergie dans le bâtiment*  
Recommandation SIA V380/1, édition 1988
- [12.8] Société Suisse des ingénieurs et architectes SIA  
*L'indice de dépense d'énergie*  
Recommandation SIA 180/4, édition 1982
- [12.9] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation SICC  
*Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen*  
SICC 95-3 non encore disponible