

# 4724

# **ANALYSE ECONOMIQUE DES SYSTEMES DE VENTILATION ET D'AERATION DANS LES BATIMENTS**

**Programme de recherche ERL  
Volet C / partie 1.1**

**P. Affolter**

**P. Verstraete**

*Lausanne, 15 novembre 1989*

*No 610.102b*



**ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE**

**IHE**

**LASEN - Laboratoire de Systèmes Energétiques**

**Prof. G. Sarlos**

# Table des matières

<b>1.</b>	<b>Situation du problème</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Méthodes d'analyse</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Etudes de cas</b>	<b>4</b>
3.1	Installations considérées	4
3.2	Bâtiment ELB de l'EPFL	5
3.3	Banque de l'Etat de Fribourg	6
3.4	Autres bâtiments	7
<b>4.</b>	<b>Campagne de mesures à l'EPFL</b>	<b>8</b>
4.1	But de la campagne de mesure	8
4.2	Description sommaire de l'installation	8
4.3	Description du dispositif de mesure	9
4.4	Résultats	10
4.5	Méthode de mesure simplifiée	15
<b>5.</b>	<b>Conclusions</b>	<b>16</b>
<b>Annexe 1</b>	<b>Données technico-économiques (avec commentaires)</b>	<b>17</b>
<b>Annexe 2</b>	<b>Liste des données disponibles</b>	<b>33</b>
<b>Annexe 3</b>	<b>Bilans quotidiens des relevés automatiques</b>	<b>35</b>
<b>Figures</b>		<b>37</b>

# Installations de ventilation-climatisation

## Etude économique

### 1. Situation du problème

La réalisation des conditions de confort dans les locaux d'un bâtiment résulte essentiellement de trois éléments qui sont les suivants :

1. Mesures **passives** appliquées à l'enveloppe,
2. Performances des installations de chauffage et de ventilation-climatisation, si elles sont prévues, c'est-à-dire les mesures **actives**,
3. Affectation du bâtiment (école, banque, bureau, hôpital, etc. influençant la durée et le degré d'occupation des locaux et les apports thermiques des personnes et des équipements),
4. Conception architecturale du bâtiment.

La conception énergétique d'un bâtiment comporte une optimisation technico-économique visant à définir la répartition des investissements entre les dispositions passives prises au niveau de l'enveloppe et les équipements actifs de production de chaleur et de ventilation-climatisation conduisant aux coûts annuels globaux (frais financiers et frais d'exploitation) les plus bas, pour un degré de confort défini.

Dans cette optimisation, on considère un **système fixe**, non lié aux aspects énergétiques et donné à l'avance comme invariable au niveau du problème étudié et un **système variable** sur lequel porte l'optimisation.

Le système fixe comprend les structures porteuses du bâtiment, les fenêtres pour l'éclairage et la toiture. On peut également lui assimiler les paramètres extérieurs comme les conditions climatiques, le prix du terrain, les taxes et impôts, le prix des agents énergétiques et en particulier celui du pétrole, le taux d'intérêt.

Le système variable comporte les parties suivantes :

- les dispositions thermiques passives servant à isoler le bâtiment,
- les installations thermiques actives servant à produire et à transporter la chaleur (chaudières, pompes à chaleur, conduites, radiateurs) et celles servant à la ventilation-climatisation.

Les paramètres libres de ce dimensionnement, c'est-à-dire ceux sur lesquels on peut jouer, sont ceux qui caractérisent le système variable, soit :

- les types et les épaisseurs des différentes couches d'isolation,
- les types des fenêtres,
- les installations de production de chaleur,
- les installations de ventilation-climatisation.

Comme fonction objectif à minimiser, on choisit les coûts annuels liés aux paramètres libres. Toute modification d'un paramètre libre se répercutera d'une part sur les investissements et d'autre part sur les frais d'exploitation, donc finalement sur les coûts annuels.

Il apparaît ainsi qu'il n'est pas possible de comparer entre elles des installations de ventilation-climatisation de bâtiments différents sans tenir compte de tous les facteurs qui affectent le comportement énergétique de ces derniers. A ce titre, il est évident que l'affectation du bâtiment constitue également un paramètre extérieur.

Dans la pratique, cette façon rigoureuse d'aborder le problème est récente et l'optimisation énergétique globale n'est pas effectuée dans chaque cas. La répartition des investissements entre mesures passives et actives résulte alors de l'expérience de nombreuses réalisations qui se traduit dans les "règles de l'art". Celles-ci conduisent à des bâtiments qui sont satisfaisants du point de vue du confort et entraînant des coûts annuels globaux qui sont jugés raisonnables sans que ce dernier point ne soit vérifié par une optimisation. Il se trouve ainsi que les solutions retenues ne sont souvent pas éloignées de l'optimum. D'autre part, si des paramètres extérieurs changent, par exemple le taux d'intérêt ou le prix du pétrole ainsi que la structure générale des coûts, l'optimum de la répartition des investissements se déplace et l'écart entre les conditions de la réalisation et ce nouvel optimum peut se creuser.

C'est dans ce contexte que se situe la présente étude dans laquelle le système variable est limité aux installations de ventilation-climatisation. Il est par conséquent certain que les coûts annuels afférant aux installations de bâtiments différents sont des coûts partiels et que leur comparaison directe est dépourvue de sens, même si des corrections d'échelle sont apportées. Ceci résulte en particulier du fait qu'aucun des quatre éléments mentionnés ci-dessus n'est identique dans les différents exemples de bâtiments analysés dans l'étude.

## 2. Méthode d'analyse

Au vu de ce qui précède, l'analyse économique qui peut être effectuée dans le cadre de la présente étude se ramène au calcul des coûts annuels partiels des installations de ventilation-climatisation de différents bâtiments, étant entendu que ces coûts ne sont pas directement comparables.

Les éléments qui interviennent dans ce calcul sont d'une part les frais financiers résultant des investissements et d'autre part les frais d'exploitation.

### a) Frais financiers

- **coûts directs**
  - conduits, gaines, grilles, robinetterie, tuyauteries
  - appareils
  - organes de réglage
  - montage et transport
  - isolation thermique
  - tableaux électriques et pneumatiques
- **coûts indirects**
  - étude et planification
  - surveillance des travaux
  - frais du Maître de l'Ouvrage
  - intérêts intercalaires
  - renchérissement

La somme de ces coûts constitue les investissements. Pour calculer les frais financiers annuels correspondants, on admet que les investissements sont financés en totalité par des emprunts. Soit  $i$  le taux d'intérêt de ces emprunts. Les différentes parties de l'installation, correspondant aux rubriques des coûts directs, ont des durées de vie économiques  $n_j$  différentes. En admettant que le paiement des intérêts et l'amortissement des investissements se fassent par des annuités constantes  $A_j$ , les frais financiers annuels  $A$  s'expriment comme suit:

$$A = \sum A_j = \sum C_j \frac{i}{1-(1+i)^{-n_j}}$$

### b) Frais d'exploitation

- salaires du personnel
- produits et matériel d'entretien courant (lubrifiants, filtres, joints, courroies, etc.), pièces de rechange
- services extérieurs (entretien et réparations par des firmes spécialisées)
- divers et imprévus

Les frais d'exploitation comprennent une part fixe et indépendante du fonctionnement de l'installation et une part proportionnelle à la durée de fonctionnement.

Les coûts annuels sont la somme des frais financiers annuels et des frais d'exploitation. S'agissant des coûts partiels, ils peuvent s'exprimer en fonction des coûts annuels globaux, comprenant les frais financiers et les frais d'exploitation pour l'ensemble de l'immeuble. On peut également les comparer soit au coût total de l'installation de ventilation-climatisation soit au coût total de l'immeuble et de l'ensemble de ses équipements. La comparaison de ces valeurs avec des valeurs correspondantes relatives à d'autres bâtiments n'a pas de sens. Ceci tendrait à remettre en question l'objet de cette étude qui devrait porter sur une analyse technico-économique des systèmes de construction et de ventilation-climatisation de bâtiments différents.

## 3. Etudes de cas

### 3.1 Installations considérées

Différents bâtiments ont été examinés dans le cadre de l'étude pour déterminer les caractéristiques technico-économiques et les performances des installations de ventilation-climatisation.

La collecte des données correspondant à ces différents bâtiments a été effectuée lors de visites dans ces bâtiments. Les exploitants de ces derniers ont mis à la disposition des groupes d'étude toutes les informations dont ils disposaient ou qu'il leur était possible de réunir. Malgré cela, les données récoltées restaient lacunaires pour la plupart des bâtiments, à l'exception du bâtiment ELB du département d'électricité de l'EPFL et de la Banque de l'Etat de Fribourg pour lequel les données réunies sont complètes.

L'analyse économique a donc pu être effectuée pour ce bâtiment et fait l'objet du paragraphe 3.2 ci-après (passif pas considéré). Pour les autres bâtiments, les données réunies sont présentées au paragraphe 3.3 dans les tableaux de même type que celui utilisé pour le bâtiment ELB de l'EPFL. Dans ces derniers cas, l'analyse ne peut être poursuivie jusqu'à son terme, certaines données importantes n'étant pas disponibles.

### 3.2 Bâtiment ELB de l'EPFL

Le bâtiment ELB de l'EPFL fait partie de la 2ème étape des constructions de cet établissement et il est attribué au département d'électricité. Il s'agit d'un bâtiment comportant des bureaux, des laboratoires et des locaux auxiliaires. Il ne comprend pas d'auditoires. Le bâtiment est récent puisque sa mise en service est intervenue en 1987. Le volume du bâtiment est de 10 000 m<sup>3</sup> et la surface de planchers de 3600 m<sup>2</sup>.

La ventilation est assurée par un système dissocié dans lequel le renouvellement de l'air a lieu dans la centrale alors que l'évacuation des charges thermiques est assurée par des ventilo-convecteurs (décentralisés) alimentés par l'eau froide du lac. Le système de pulsion est à basse pression (moins de 1 kPa).

Les données techniques ont été recueillies auprès

- de l'Office des constructions fédérales
- du Service d'exploitation de l'EPFL
- du bureau d'ingénieurs SORANE SA qui a fait le projet des installations de ventilation.

Ces données sont reportées dans le tableau 1 de l'annexe 1. En outre, une campagne de mesure effectuée dans le bâtiment étudié a permis d'obtenir certains paramètres techniques (voir chapitre 4). L'annexe 1 donne la provenance des principales données utilisées dans cette étude.

Les coûts directs des installations de ventilation ont été fournis par l'Office des constructions fédérales et leur montant total est proche de 1,5 M fr. Les annuités correspondantes ont été obtenues en calculant les annuités partielles (annuités constantes) avec un taux d'intérêt de 6% et les durées de vie économique caractéristiques des différents équipements. On obtient ainsi un total des annuités de près de 0,14 M fr., soit 9,4% des coûts directs.

En l'absence de données suffisamment précises, les coûts indirects (voir paragraphe 2 a) n'ont pas été pris en considération.

Les données concernant les frais d'exploitation ont été fournies principalement par le Service d'exploitation de l'EPFL. Il s'agit le plus souvent de données concernant l'exploitation de l'ensemble des service "chauffage, ventilation, sanitaire" de l'EPFL. Des indications basées d'une part sur des fiches de travail du personnel et des indications du chef de ce service ont permis de dégager des valeurs suffisamment représentatives des données recherchées (voir annexe 1).

En conclusion de cette analyse, on obtient les montants suivants (ventilation uniquement) :

frais financiers	fr/an	138 000
frais d'exploitation	fr/an	36 830
		-----
coûts annuels	fr/an	174 830

On peut situer l'ordre de grandeur de ces coûts annuels en les rapportant à différentes valeurs caractéristiques du projet. Ainsi on obtient:

- par rapport au nombre d'occupants du bâtiment

$$\frac{174\,830}{80-180} = 970 - 2180 \text{ fr./occ.an}$$

- par rapport à la surface de plancher

$$\frac{174\,830}{3600} = 48 \text{ fr/m}^2\text{.an}$$

- par rapport au volume du bâtiment

$$\frac{174\,830}{10\,000} = 17 \text{ fr/m}^3\text{.an}$$

- par rapport au volume d'air pulsé

$$\frac{174\,830}{98\,000} = 1,8 \text{ fr.h/m}^3\text{.an, soit } 2 \cdot 10^{-4} \text{ fr/m}^3$$

- par rapport au coût du bâtiment

$$\frac{174\,830}{6\,900\,000} = 2,5\%/\text{an}$$

- par rapport au coût annuel du bâtiment

$$\frac{174\,830}{618\,000} = 28\%$$

Ces valeurs permettent de situer les ordres de grandeurs relatives par rapport au bâtiment étudié. Seule la dernière valeur est véritablement significative et montre l'importance des coûts annuels de la ventilation, soit près de 30 %, par rapport au coût annuel de l'ensemble du bâtiment.

Les résultats de la campagne de mesures effectuée dans le bâtiment ELB (voir chapitre 4) permettent de porter une appréciation sur les consommations d'énergie électrique, de chaleur et de froid dans les installations de ventilation de ce bâtiment et de rapporter ces valeurs et les coûts correspondants à la surface de plancher :

Grandeur	Quantité (kWh)	Consommation spécifique (kWh/m <sup>2</sup> )	Coût de l'énergie (fr/kWh)	Coût spécifique (fr/m <sup>2</sup> )
Electricité	82'658	23,0	0,1300	3,00
Chaleur	57'666	16,0	0,0580	0,93
Froid	181'380	50,4	0,0257	1,29

Compte tenu du fait que des différences importantes peuvent exister d'un bâtiment à l'autre du point de vue énergétique, en particulier en ce qui concerne :

- les mesures passives appliquées à l'enveloppe,
- les mesures actives, c'est-à-dire les installations de chauffage et de climatisation-ventilation,
- l'affectation des bâtiments et leurs modes d'exploitation,
- la conception architecturale (forme, situation, ouvertures).

Les valeurs spécifiques ont une valeur indicative, mais elles ne peuvent pas être comparées à des valeurs semblables concernant d'autres bâtiments.

### 3.3 Banque de l'Etat de Fribourg

Les données qui ont pu être réunies concernant cet établissement figurent dans le tableau 2 de l'annexe 1. En rapportant les coûts annuels à différentes caractéristiques de cette banque, on obtient les valeurs suivantes :

- par rapport au nombre d'occupants du bâtiment

$$\frac{214\,480}{300} = 715 \text{ fr/occ.an}$$

- par rapport à la surface du plancher

$$\frac{214\,480}{15\,000} = 14 \text{ fr/m}^2\text{.an}$$

- par rapport au volume du bâtiment

$$\frac{214\,480}{55\,000} = 4 \text{ fr/m}^3\text{.an}$$

- par rapport au volume l'air pulsé

$$\frac{214\,480}{124\,600} = 1,7 \text{ fr/m}^3\text{.an, soit } 2 \cdot 10^{-4} \text{ fr/m}^3$$

$$\frac{214\,480}{30\,000\,000} = 0,7 \text{ \%/an}$$

- par rapport au coût annuel du bâtiment

$$\frac{214\,480}{2\,184\,500} = 9,8 \%$$

Ces chiffres doivent être interprétés avec prudence car ils concernent l'ensemble du bâtiment. Celui-ci comprend en effet la banque proprement dite ainsi qu'un restaurant et un dancing qui ont des besoins et des modes d'exploitation très différents les uns des autres. D'autre part, l'énergie utilisée pour le chauffage (mazout) concerne le chauffage statique, l'eau sanitaire et le chauffage de l'air de ventilation. Pour ces raisons, il n'a pas été possible de déterminer d'une part les valeurs concernant la banque et d'autre part de séparer les consommations d'énergie concernant la ventilation.

### 3.4 Autres installations

Les autres installations étudiées sont les suivantes, et les données technico-économiques correspondantes sont reportées dans les tableaux de l'annexe 1 :

- Aargauische Kantonalbank, Wohlen (tableau 3)
- Bürogebäude Hasler, Winterthur (tableau 4)

Les données ne sont pas disponibles en totalité. Il n'a par conséquent pas été possible d'effectuer l'analyse économique sur ces bâtiments.

## 4. Campagne de mesures à l'EPFL

### 4.1 But de la campagne de mesures

Parmi les données techniques nécessaires pour effectuer l'analyse économique d'une installation de ventilation-climatisation, celles concernant les consommations d'énergie (électricité, mazout, gaz, eau de refroidissement) ne sont souvent pas disponibles. En effet, ces consommations sont saisies globalement pour l'ensemble des besoins d'un bâtiment.

Au stade des études, des calculs prévisionnels sont effectués dans le but de dimensionner les installations mais les valeurs des consommations que l'on peut en tirer constituent des approximations souvent éloignées de la réalité. D'autre part, une fois l'installation réalisée et mise en service, on ne procède généralement pas à une vérification de ces chiffres. Cette situation est celle de la totalité des installations examinées dans le cadre de la présente étude.

Dans le cas du bâtiment ELB de l'EPFL, il a été décidé de procéder à une campagne de mesures pour saisir ces valeurs des consommations d'énergie.

Ce bâtiment était déjà bien instrumenté et cet équipement a pu être complété pour les besoins de l'étude. Cette campagne de mesures a été facilitée par la mise à disposition de l'appareillage nécessaire et le montage de celui-ci par le Service d'exploitation de l'EPFL. Le personnel de ce service s'est montré compétent, efficace et très coopératif.

La campagne d'une durée de deux mois (18 mai au 11 juillet 1989) a permis d'établir les coûts des consommations des différents agents énergétiques utilisés par les installations de chauffage et de ventilation du bâtiment ELB pendant la période de mesure (figure 4.1; remarque : toutes les figures se trouvent à la fin du rapport).

## 4.2 Description sommaire de l'installation

L'installation de ventilation-climatisation du bâtiment ELB de l'EPFL constitue un système dissocié car les fonctions "hygiène" et "confort" sont assurées par deux installations distinctes. Une centrale de ventilation placée dans le local technique permet de renouveler l'air à raison de 3,5 fois par heure pour assurer les conditions d'hygiène requises. Si la température dans les locaux excède 26°C, l'air est refroidi localement par des éjecto-convecteurs.

Le refroidissement de l'air est assuré par une circulation d'eau froide pompée dans le lac tandis que le chauffage de l'air est effectué par une circulation d'eau chaude provenant de la pompe à chaleur (CCT) de l'EPFL. Le local technique comprend quatre installations (ELB 1, 2, 4 et 5) qui sont représentées sur la figure 4.2.

L'installation ELB 1 assure l'alimentation en air de l'ensemble du bâtiment. Cet air est filtré, réchauffé ou refroidi selon les besoins et humidifié si l'humidité relative est inférieure à 50 %. L'installation ELB 2 assure la climatisation d'un laboratoire (photométrie). Les installations ELB 4 et 5 assurent l'extraction de locaux divers.

Au niveau 1 le refroidissement local est complété par deux armoires de climatisation qui règlent la température des locaux de deux ordinateurs.

## 4.3 Description du dispositif de mesure

Le dispositif de mesure est reporté sur le diagramme de la figure 4.2

La consommation d'énergie électrique est relevée par onze compteurs  $\text{ⓔ}$  dont trois sont automatiques et huit à relevés manuels (2 pour les armoires et 6 pour les rangées de ventilo-convecteurs). En outre, l'état de fonctionnement des moteurs (marche ou arrêt) est relevé par des compteurs binaires  $\text{ⓐ}$  sur la figure 4.2).

Les consommations d'énergie thermique (chaleur ou froid) sont mesurées par les débits et les différences de température des fluides correspondants. Les mesures de chaleur sont faites globalement pour tout le bâtiment ELB  $\text{ⓐ}$  sur la figure 4.2) et portent donc sur des installations de ventilation et de chauffage statique. Pour la ventilation, des mesures de débit de température sont effectuées  $\text{ⓓ}$  et  $\text{Ⓣ}$  sur la figure 4.2).

Les mesures de froid sont faites globalement pour les deux bâtiments ELA et ELB. La consommation de ELA est beaucoup plus faible que celle de ELB. Cette dernière comprend 221 kW pour les ventilo-convecteurs, 60 kW pour les armoires et 108 kW pour la ventilation.

Les données relevées automatiquement sont envoyées à un acquisateur de données (VNR DAU 16/60), mis à disposition par le Laboratoire d'Energie Solaire de l'EPFL (LESO).

Des points de mesure sont pris toutes les 30 secondes et les sommes sont calculées toutes les 30 minutes. Ces sommes sont ensuite enregistrées sur un disque en vue de leur traitement par l'ordinateur VAX. L'annexe 2 donne une liste des données relevées par les 32 canaux de l'acquisiteur de données.

## 4.4 Résultats

### 4.4.1 Interprétation des relevés automatiques

L'exploitation des résultats de mesure des consommations d'énergie a permis d'établir des relevés quotidiens pour le froid, la chaleur et l'énergie électrique (figure 4.3 et annexe 3).

Ces relevés permettent de faire les remarques suivantes :

1. Des trois formes d'énergie, c'est la consommation de froid qui est la plus importante (cette consommation concerne les deux bâtiments ELA et ELB; la consommation de ELA étant faible, la majeure partie de la consommation mesurée et imputable à ELB, ce qui justifie la remarque précédente).
2. La période de chauffage s'est terminée le 12 juin. Il y avait déjà une consommation de froid avant cette date pour le refroidissement des ordinateurs. Depuis cette date, la consommation de froid augmente avec des pointes les deux premiers jours de la semaine.
3. Pour ce qui concerne la consommation d'électricité, il faut exclure les deux premières semaines de mesure qui correspondent à des circonstances particulières (Portes ouvertes EPFL et Bal du Département d'Electricité).

Par la suite (depuis le 22 mai), on constate deux niveaux de consommation. Le premier correspond aux jours ouvrables (lundi à vendredi) et le second aux week-ends. Ce régime se répète de semaine en semaine indépendamment des variations de consommation de chaleur et de froid, c'est-à-dire indépendamment de la température extérieure.

### 4.4.2 Interprétation des relevés manuels

Les relevés manuels ont porté sur les consommations d'énergie électrique des ventilo-convecteurs (figure 4.4.a) et des armoires de climatisation (figure 4.4.b).

Les courbes sont des consommations cumulées et les consommations journalières sont données par les pentes de ces courbes.

Ainsi pour les ventilo-convecteurs, on distingue deux régimes de fonctionnement. Le premier correspond à la période de chauffage avec une consommation journalière de 11 kWh/j et le second à la période de refroidissement avec une consommation de 30 kWh/j.

La consommation des armoires de climatisation reste constante, soit 37 kWh/j.

#### 4.4.3 Variations de la consommation d'énergie électrique

A partir des relevés informatisés, on a mis en évidence les variations quotidiennes et hebdomadaires de la consommation d'énergie électrique. La distribution quotidienne des consommations d'énergie électrique (figure 4.5.a) montre une consommation de base d'environ 3 kWh/h qui correspond au régime nocturne et des jours fériés en une consommation plus élevée, environ 10 à 25 kWh/h, qui correspond aux jours ouvrables pendant la journée. Les jours ouvrables, on constate des pointes le matin lors de la mise en marche des installations ainsi que vers midi.

A l'échelle hebdomadaire (figure 4.5.b) on ne distingue plus que deux régimes correspondant, pour le premier, aux jours ouvrables (jour et nuit) avec une consommation de 200 à 250 kWh/j et, pour le second, aux jours fériés avec une consommation de l'ordre de 60 kWh/j.

#### 4.4.4 Influence des facteurs météorologiques sur la consommation d'énergie électrique

La figure 4.6 montre la relation qui existe entre les consommations d'électricité et la température extérieure (figure 4.6.a) d'une part et l'humidité relative de l'air extérieur (figure 4.6.b) d'autre part.

Ces deux graphiques montrent que la consommation d'énergie électrique reste pratiquement constante lorsque ces deux paramètres varient.

#### 4.4.5 Variations de consommation des énergies thermiques (froid et chaleur)

##### Froid

Les distributions quotidienne et hebdomadaire de la consommation de froid sont reportées dans la figure 4.7. La distribution quotidienne (figure 4.7.a) fait apparaître une grande dispersion avec une augmentation marquée en début d'après-midi. La distribution hebdomadaire (figure 4.7.b) montre également une grande dispersion avec une augmentation nette en début de semaine.

##### Chaleur

Les distributions quotidienne et hebdomadaire de la consommation de chaleur sont données dans la figure 4.8. La distribution quotidienne (figure 4.8.a) montre une demande accrue de chaleur en début de matinée. La distribution hebdomadaire (figure 4.8.b) montre une demande accrue de chaleur en début de semaine. Cette demande se réduit progressivement au cours de la semaine.

#### 4.4.6 Influence des facteurs météorologiques sur la consommation d'énergies thermiques

L'influence de la température de l'air extérieur sur la consommation de froid et de chaleur est représentée dans la figure 4.9.

Pour le froid on distingue deux régimes suivant que l'on chauffe (hiver), la consommation est alors réduite, ou que l'on refroidit, la consommation est alors plus élevée. Pour ces deux régimes, on observe une tendance à l'augmentation de la consommation de froid lorsque la température de l'air extérieur augmente. Indépendamment de ces deux régimes, on a une consommation de base de 27 kWh/h environ.

Pour la consommation de chaleur, la dispersion est grande mais on observe une tendance marquée à la baisse, jusqu'à zéro, lorsque la température augmente.

#### 4.4.7 Extrapolation des consommations d'énergie électrique

La campagne de mesure a fourni des résultats qui sont représentatifs de la période pendant laquelle les mesures ont été faites. Pour les besoins de l'étude économique, il est nécessaire de connaître les valeurs annuelles. Dans ce qui suit, on indiquera les méthodes utilisées pour obtenir un nombre de grandeur de ces consommations annuelles.

Pour la **centrale de ventilation**, l'examen de la courbe représentative de la consommation d'énergie électrique (figure 4.3) montre que, depuis le mardi 23 mai 1989, cette consommation est régulière avec deux régimes correspondant respectivement aux jours ouvrables et aux jours fériés.

Cette régularité est vérifiée malgré les variations nettes, observées pendant la même période, des consommations de chaleur et de froid. En effet, la consommation d'énergie électrique des circulateurs des batteries de chauffage est très faible et les groupes du circuit de refroidissement fonctionnent en permanence. Ces deux postes ne sont donc pas à l'origine de variations saisonnières sensibles de la consommation.

Pendant la période de mesure, soit du mardi 23 mai (jour no 143) au 11 juillet (jour no 192), il y a eu 36 jours ouvrables et 14 jours fériés.

Pour extrapoler ces consommations à l'année entière, on considère qu'il y a 50 semaines ouvrables de 5 jours avec une consommation de 218,33 kWh/j ainsi que 50 week-ends de 2 jours entiers et 2 semaines de 7 jours entiers/fixes de fin d'année) avec une consommation réduite de 57,44 kWh/j. La consommation annuelle calculée sur cette base est de 63 428 kWh/an.

A cette consommation de la centrale technique, il faut ajouter une consommation d'énergie électrique **décentralisée** due aux ventilo-convecteurs et aux armoires de ventilation.

Les ventilo-convecteurs ont consommé 11 kWh/j jusqu'à la mi-juin (jour no 164) puis 30 kWh/j (enclenchement temporaire des ventilo-convecteurs à charge partielle). La consommation des ventilo-convecteurs est ainsi de 11 kWh/j pendant l'hiver et l'entre-saison (275 j/an) et de 30 kWh/j pendant l'été (90 j/an).

La consommation des armoires de climatisation a été moins régulière, soit en moyenne 37 kWh/j. On admet que cette moyenne est valable pour l'année entière. La part de la consommation d'énergie électrique décentralisée est ainsi de 19 230 kWh/an. La consommation annuelle totale d'énergie électrique pour les installations de ventilation est ainsi de 82 658 kWh/an.

#### 4.4.8 Extrapolation des consommations d'énergies thermiques

De fortes variations caractérisent la consommation des énergies thermiques chaleur et froid. Les causes de ces variations sont multiples. On citera notamment la dépendance de la température et les régimes de fonctionnement "hiver" et "été". Ces variations sont mises en évidence dans la figure

4.10 qui représente la consommation de chaleur en fonction de la température (°C) (figure 4.10.a) et la consommation de froid en fonction de cette même grandeur (figure 4.10.b).

Il n'est guère possible de faire une analyse fine de ces consommations aussi faut-il admettre qu'elles se situent dans les plages délimitées par des segments de droites. Les équations de ces droites limites sont données ci-après.

### Chaleur

Minimum de la consommation  $C_{\text{chal, min}}$

$$T < 16^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{chal, min}} = 440 - 27,3 T \quad \text{kWh/j}$$

$$T > 16^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{chal, min}} = 0 \quad \text{kWh/j}$$

Maximum de la consommation  $C_{\text{chal, max}}$

$$T < 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{chal, max}} = 780 - 38,1 \cdot T \quad \text{kWh/j}$$

$$T > 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{chal, max}} = 0 \quad \text{kWh/j}$$

### Froid

Minimum de la consommation  $C_{\text{fr, min}}$

$$T < 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{fr, min}} = 650 \quad \text{kWh/j}$$

$$T > 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{fr, min}} = -2290 + 150 \cdot T \quad \text{kWh/j}$$

Maximum de la consommation  $C_{\text{fr, max}}$

$$T < 15^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{fr, max}} = 700 \quad \text{kWh/j}$$

$$T > 15^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{fr, max}} = -5790 + 431 \cdot T \quad \text{kWh/j}$$

Pour calculer les consommations annuelles de chaleur et de froid en utilisant les équations, il faut encore connaître les fréquences des différentes températures extérieures. Pour cela on utilise l'abaque qui se trouve dans "Energétique du Bâtiment", de C.A. Roulet, publié par les Presses Polytechniques Romandes (1987). On établit 13 classes de températures par pas de 2°C et on lit le nombre de jours de l'année pour lesquels la température se situe dans chacune des classes. On obtient alors à l'aide des équations ci-dessus, 2 fourchettes de consommations, l'une pour la chaleur et l'autre pour le froid. En additionnant ces valeurs on obtient l'ordre de grandeur des deux consommations annuelles. Le tableau 4.1 donne les valeurs numériques correspondant à cette méthode de calcul des consommations.

température journ. moyenne (°C)	nombre de jours (1)	Cchal,min (kWh)	Cchal,max (kWh)	Cfr, min (kWh)	Cfr, max (kWh)
< 0 (-2)	35,0	17 308,20	30 064,65	22 750,00	24 500,00
0 - 2	25,0	10 318,50	18 616,50	11 375,00	17 500,00
2 - 4	27,5	9 851,05	18 382,10	17 875,00	19 250,00
4 - 6	30,0	9 111,00	17 766,60	19 500,00	21 000,00
6 - 8	30,0	7 475,40	15 480,00	19 500,00	21 000,00
8 - 10	25,0	4 866,50	10 994,50	16 250,00	17 500,00
10 - 12	32,5	4 554,55	11 815,70	21 125,00	22 750,00
12 - 14	27,5	2 354,55	7 901,85	17 875,00	19 250,00
14 - 16	30,0	933,00	6 333,60	19 500,00	23 894,85
16 - 18	32,5	4,39	4 384,25	21 125,00	50 048,05
18 - 20	27,5	0,00	1 613,7	17 949,42	66 069,85
20 - 22	25,0	0,00	69,39	20 983,25	81 628,50
>22 (23)	17,5	0,00	0,00	19 908,25	72 235,45
Total	365,0	66'777,14	143 422,84	245 716,19	456 626,70

Tableau 4.1 **Calcul des consommations extrêmes**

On retiendra les moyennes arithmétiques des valeurs extrêmes des consommations de chaleur et de froid :

Consommation annuelle de chaleur :	105 100 kWh/an	Bâtiments ELA et ELB
Consommation annuelle de froid :	351 171 kWh/a/an	

La dispersion de ces valeurs est de 30 - 40 %.

Les consommations concernant le bâtiment ELB sont calculées dans l'annexe 1 (commentaires, points 17.2.5 et 17.2.7). On obtient ainsi :

Consommation annuelle de chaleur ELB	57 666 kWh/an
Consommation annuelle de froid ELB	181 380 kWh/an

#### 4.4.9 Récapitulation des résultats

Les valeurs des consommations annuelles des différentes formes d'énergie (électricité, chaleur et froid), telles qu'elles résultent de la campagne de mesure et des extrapolations à une année entière, sont données dans le tableau 4.2 ci-après.

Energie	Consommations annuelles	
	kWh/an	kWh/an.m2
Electricité	82 658	23,0
Chaleur	57 666	16,0
Froid	181 380	50,4

Tableau 4.2 Récapitulation des consommations d'énergie

#### 4.5 Méthode de mesure simplifiée

La campagne de mesures a permis de vérifier que tous les appareils électriques de l'installation de ventilation du bâtiment ELB de l'EPFL fonctionnent à puissance constante lorsqu'ils sont en fonctionnement. Il suffirait dès lors de mesurer cette puissance une fois pour toutes et de placer ensuite les compteurs de durée de fonctionnement sur chacun des appareils.

On obtient ensuite la consommation totale pendant la période de mesure en sommant, pour chaque appareil, le produit de la puissance par la durée de fonctionnement.

La figure 4.11 présente des diagrammes de fonctionnement établis à l'aide de compteurs de durée de marche pour les différentes parties des installations de ventilation-climatisation du bâtiment ELB. La partie a) de cette figure correspond à l'ensemble de la période de mesure, la partie b) à la semaine du 12 au 18 juin et la partie c) à la journée du 12 juin.

La consommation mesurée et la consommation estimée par la méthode simplifiée des durées de fonctionnement sont comparées pour un jour dans la figure 4.12.a. Afin de pouvoir apprécier la valeur de cette estimation, les écarts relatifs ont été répartis en fonction du temps dans la figure 4.12.b. L'erreur moyenne sur la journée est inférieure à 6 %. L'erreur introduite par l'utilisation de cette méthode simplifiée est inférieure à la tolérance des compteurs usuels et par conséquent acceptable.

L'intérêt de la méthode simplifiée réside dans la simplification de l'appareillage. La puissance absorbée par les appareils peut se mesurer au moyen d'une pince ampèremétrique, sans insérer d'appareil de mesure dans l'alimentation. A l'avenir, les compteurs de durée de fonctionnement pourraient être des appareils à induction très simples montés sans intervenir sur l'installation proprement dite.

## 5. Conclusions

L'analyse économique a porté sur les installations de ventilation-climatisation de quatre bâtiments.

L'exécution de cette analyse a montré qu'il était difficile de disposer de toutes les données technico-économiques nécessaires et ceci malgré la très grande obligeance des services d'exploitation des bâtiments étudiés qui ont mis à disposition toutes les informations dont ils disposaient.

Pour pallier à ces difficultés, une campagne de mesures d'une durée de deux mois (mi-mai à mi-juillet 1989) a été effectuée pour mesurer les consommations d'énergie des installations de

ventilation-climatisation dans l'un des bâtiments de la 2e étape de construction de l'EPFL. Ces mesures qui ont mis en oeuvre un appareillage important ont permis d'obtenir les valeurs recherchées pour la période de mesure. Ces valeurs ont ensuite été extrapolées à l'année entière avec la grande dispersion inhérente à une telle extrapolation. Des résultats plausibles ont néanmoins été obtenus et ont pu être introduits dans l'étude économique.

Pour un autre bâtiment, celui de la Banque de l'Etat de Fribourg, certaines estimations ont été faites et il a été possible de faire l'analyse économique complètement. Pour les deux autres bâtiments (Banque cantonale d'Argovie à Wohlen et bâtiment Hasler à Winterthur), l'analyse économique n'a pas pu être effectuée, des données importantes n'étant pas disponibles.

Bien qu'il s'agisse d'installations différentes quant aux principes et placées dans des bâtiments de conceptions différentes, l'analyse économique montre l'importance de l'investissement et des coûts d'exploitations des installations de ventilation-climatisation ainsi que les différences qui peuvent se présenter d'un bâtiment à un autre.

Ainsi les coûts annuels liés à ces installations (frais financiers et coût d'exploitation) représentent près de 30% dans le cas de l'EPFL et 10% pour la Banque de Fribourg des coûts annuels totaux des bâtiments.

Cette différence énorme tend à prouver que :

1. les installations ne peuvent être comparées indépendamment du bâtiment proprement dit (propriétés de l'enveloppe et performances des installations de chauffage),
2. ces installations sont coûteuses par rapport au coût global du bâtiment (21% dans le cas de l'EPFL, 5% pour la Banque de Fribourg) et méritent la plus grande attention de la part des Maîtres de l'Ouvrage et leurs mandataires techniques.

**Annexe 1****Données technico-économiques  
(avec commentaires)**

Tableau 1.	Bâtiment ELB, EPFL, Ecublens (VD)
Tableau 2.	Banque de l'Etat de Fribourg, Fribourg (FR)
Tableau 3.	Aargauische Kantonalbank, Wohlen (AG)
Tableau 4.	Bürogebäu "Hasler", Winterthur (ZH)

Tableau 1

DONNEES GENERALES SUR LE BATIMENT			
1. objet, lieu		BATIMENT ELB , EPFL , ECUBLENS (VD)	
2. date de mise en service		1987	
utilisation du bâtiment	nombre d'occupants	dimensions	
		surface (m <sup>2</sup> )	volume (m <sup>3</sup> )
3.1 bureaux	80	730	1970
3.2 laboratoires	0 - 100	1250	3370
3.3 autres (WC, couloirs, escaliers)	lieu de passage	1620	4660
3.4			
3	TOTAL:	80 - 180	3600
DONNEES TECHNIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION			
4. type de système de ventilation		EAU - AIR , DISSOCIE , BASSE PRESSION	
5. conception		BUREAU P. CHUARD , LAUSANNE	
6. caractéristiques énergétiques			
fonction	source d'énergie	puissance installée (kW)	
6.1 chauffage de l'air	EAU CHAUDE	124	
6.2 production de froid	EAU FROIDE	389	
6.3 transport et distribution	ELECTRICITE	80	
6.4 autre:	ELECTRICITE / EAU FROIDE	26 / 10	
7. débit total maximum d'air pulsé (m <sup>3</sup> /h)		98000	

Tableau 1 (suite)

DONNEES ECONOMIQUES SUR LE BATIMENT				
8. coût du bâtiment ( fr )	6 900 000			
9. taux d'intérêt( % /an)	6,0			
10. durée d'amortissement du bâtiment ( an )	60			
11. taux des annuités ( % /an)	6,19			
12.1 frais financiers annuels ( fr / an )	427 000			
12.2 frais d'exploitation annuels ( fr / an ) *	191 000			
12. coûts annuels du bâtiment ( fr / an ) TOTAL:	618 000			
* Pour l'ensemble du bâtiment				
DONNEES ECONOMIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION				
13. taux d'intérêts ( % )	6,0			
	14. coûts directs (fr)	15. durée de vie économique (an)	16. taux d'annuité (%/an)	17.1. annuité (fr/an)
17.1.1 appareils	372 000	15	10,30	38 315
17.1.2 gaines / grilles	366 000	25	7,82	28 620
17.1.3 robinetterie / tuyauterie	74 500	25	7,82	5 830
17.1.4 isolation thermique	144 000	25	7,82	11 260
17.1.5 organes de réglage	120 000	12	11,93	14 320
17.1.6 tableaux élec. / pneu.	25 000	25	7,82	1 955
17.1.7 montage / transport	366 000	15	10,30	37 700
	TOTAL: 1 467 500			138 000
17.1.8 coûts indirects (fr)	(pas considérés)			-
17.1 frais financiers annuels ( fr / an )	① TOTAL:			138 000
17.2.1 salaires pour conduite, entretien, réparation				10 940
17.2.2 produits, matériel d'entretien/ pièces de rechange				7 130
17.2.3 services extérieurs				0
17.2.4 eau sanitaire	prix unitaire ( fr / m3 )			0
17.2.5 eau industrielle	prix unitaire ( fr / m3 ) 0,12			4 660
17.2.6 électricité	prix unitaire ( fr / kWh ) 0,13			10 750
17.2.7 énergie pour le chauffage: EAU CHAUDE A DISTANCE	prix unitaire ( fr / kWh ) 0,068			3 350
17.2.8 énergie pour le refroidissement: EAU INDUSTRIELLE	prix unitaire ( fr / kWh )			c.f. 17.2.5
17.2 frais annuels d'exploitation ( fr / an )	② TOTAL:			36 830
17 coûts annuels de la ventilation ( fr / an )	① + ②			174 830

## Commentaires relatifs au tableau 1

La présente note a pour but d'indiquer les données utilisées pour obtenir les principales valeurs se rapportant au bâtiment ELB de l'EPFL. Ces valeurs sont réparties dans le tableau 1 et sont identifiées ci-après par les numéros correspondants dans ce tableau.

3. Données fournies par SORANE SA (grille d'analyse no 1, rubrique "Utilisation du bâtiment")
- 6.1 La source d'énergie utilisée est l'eau chaude fournie par la PAC de l'EPFL (température minimale en période de chauffe : 28°C; différence de température :  $\Delta T = 6K$ ). La puissance thermique indiquée est celle qui peut être transmise par les conduites alimentant les échangeurs eau-air de l'installation de ventilation.
- 6.2 Eau froide du lac fournie par la centrale de pompage (température maximale : 6.5° C; différence de température :  $\Delta T = 5K$ ). La puissance frigorifique indiquée est la somme des puissances pouvant être transmises par les conduites alimentant :
  - les ventilo-convecteurs (221 kW)
  - les batteries de refroidissement des centrales de ventilation (108 kW)
  - les deux armoires de climatisation associées aux ordinateurs du 1er étage (60 kW)
- 6.3 La puissance électrique indiquées est la somme des puissances
  - des consommateurs alimentés à partir des armoires électriques "VENTILATION & CHAUFFAGE" du bâtiment ELB soit 72 kW (pompes, circulateurs, ventilateurs, échangeurs rotatifs, batterie de post-chauffage, humidificateurs, etc.)
  - des ventilo-convecteurs aux niveaux 0, 1 et 2 (65 unités de 134 Wmax) soit 8,7 kW
- 6.4 Armoires de climatisation pour deux ordinateurs au niveau 1 du bâtiment.
7. Ce débit est la somme
  - des débits des installations centrales situées au niveau 1 soit 36 900 m<sup>3</sup>/h
  - des débits maximaux pouvant être pulsés par l'ensemble des ventilo-convecteurs/65 unités à 940 m<sup>3</sup>/h m an), soit 61 100 m<sup>3</sup>/h
8. Donnée fournie par SORANE SA. (grille d'analyse no 1, rubrique "Coût du projet")
9. Taux d'intérêt des hypothèques 1er rang en 1989

10. Durée d'amortissement admise pour un bâtiment administratif
- 11 Taux des annuités constantes pour un taux d'intérêt de 6% et une durée de vie économique de 60 ans, soit 6,19%
- 12.2 Selon les informations fournies par le Service d'exploitation de l'EPFL, le coût d'exploitation moyen des installations de chauffage, ventilation et sanitaire est de 53 fr/m<sup>2</sup> an pour l'ensemble de l'EPFL (1986). Ainsi, pour le bâtiment ELB, les frais d'exploitation sont

$$53 \text{ fr/m}^2 \text{ an} \times 3600 \text{ m}^2 = 190\,800 \text{ fr./an}$$

arrondi à 191\,000 fr/an

12. Données fournies par l'Office des constructions fédérales
13. Taux des hypothèques 1er rang en 1989
15. Durées de vie économiques des équipements des différents types selon SWKI

- 17.2.5 Le coût de l'eau industrielle à l'EPFL a été en 1986 de 0,12 fr/m<sup>3</sup>. Cette eau est utilisée pour le refroidissement avec un  $\Delta t$  minimal de 4 K (aller 8° C, retour 12° C). Le coût de l'énergie de refroidissement est ainsi de 0,0257 fr/kWh.

Les mesures effectuées du 8 mai au 11 juillet 1989 ont permis de faire une estimation de la consommation annuelle d'énergie frigorifique, soit 351 171 kWh/an pour l'ensemble des bâtiments ELA et ELB.

En pondérant cette valeur par les surfaces des bâtiments, on obtient la valeur relative au bâtiment ELB, soit :

$$351\,171 \times \frac{3600}{3370 + 3600} = 181\,380 \text{ kWh/an}$$

$$\begin{aligned} \text{Surface ELA} &: 3370 \text{ m}^2 \\ \text{Surface ELB} &: 3600 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Au prix de 0,0257 fr/kWh, le coût de l'eau industrielle pour le bâtiment ELB est de 4 660 fr /an, soit 1,29 fr/an<sup>2</sup>.an

- 17.2.6 L'estimation de la consommation annuelle d'électricité donne, sur la base de résultats de 2 mois de mesure, 82 658 kWh/an.

Au prix de 0,13 fr/kWh, cela donne fr.s. 10 750.

- 17.2.7 L'extrapolation à l'année entière de la consommation de chaleur (chap. 4) conduit à la valeur de 105 100 kWh/an. Cette chaleur est utilisée dans l'installation de chauffage statique et dans la ventilation on admet que la répartition de cette chaleur se fait au pro rata

des puissances nominales de ces installations, soit 102 kW pour le chauffage, et 124 kW pour la ventilation.

La consommation de chaleur de la ventilation est ainsi de :

$$\frac{105\,100 \times 124}{124 + 102} = 57\,666 \text{ kWh}$$

Pour un coût de l'énergie électrique de 0,13 fr/kWh, un coefficient de performance de la pompe à chaleur de 3 et les pertes de transport de 25%, le prix de la chaleur est de 0,058 fr/kWh.

Le coût de la chaleur utilisée pour la ventilation est ainsi de :

$$57\,666 \text{ kWh} \times 0,058 \text{ fr/kWh} = \text{fr.s. } 3\,345 \text{ arrondi à fr.s. } 3\,350$$

Tableau 2

DONNEES GENERALES SUR LE BATIMENT			
1. objet, lieu		BANQUE DE L'ETAT DE FRIBOURG, FRIBOURG	
2. date de mise en service		1983	
utilisation du bâtiment	nombre d'occupants	dimensions	
		surface (m2)	volume (m3)
3.1 banque			
3.2 restaurant			
3.3 dancing			
3.4			
3	TOTAL:	300	15 000
DONNEES TECHNIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION			
4. type de système de ventilation		BASSE PRESSION	
5. conception		BUREAU P. CHUARD, FRIBOURG	
6. caractéristiques énergétiques			
fonction	source d'énergie	puissance installée (kW)	
6.1 chauffage de l'air	MARZOUT	690	
6.2 production de froid	ELECTRICITE	104	
6.3 transport et distribution	ELECTRICITE		
6.4 autre:			
7. débit total maximum d'air pulsé (m3/h)		124 600	

Tableau 2 (suite)

DONNEES ECONOMIQUES SUR LE BATIMENT				
8. coût du bâtiment ( fr )	36 000 000			
9. taux d'intérêt( %/an )	6,0			
10. durée d'amortissement du bâtiment ( an )	60			
11. taux des annuités ( %/an )	6,19			
12.1 frais financiers annuels ( fr / an )	1 857 000			
12.2 frais d'exploitation annuels ( fr / an )	327 500			
12. coûts annuels du bâtiment ( fr / an ) TOTAL:	2 184 500			
DONNEES ECONOMIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION				
13. taux d'intérêts ( %/an )	6,0			
	14. coûts directs (fr)	15. durée de vie économique (an)	16. taux d'annuité (%/an)	17.1. annuité (fr/an)
17.1.1 appareils	436 200	15	10,30	44 930
17.1.2 gaines / grilles	800 800	25	7,82	62 620
17.1.3 robinetterie / tuyauterie	-			-
17.1.4 isolation thermique	-			-
17.1.5 organes de réglage	48 450	12	11,93	5780
17.1.6 tableaux élec. / pneu.	2 030	25	7,82	160
17.1.7 montage / transport	283 390	15	10,30	29190
TOTAL:	1 570 870			142 680
17.1.8 coûts indirects (fr)	(pas considérés)			-
17.1 frais financiers annuels ( fr / an )			① TOTAL:	142 680
17.2.1 salaires pour conduite, entretien, réparation				22 000
17.2.2 produits, matériel d'entretien/ pièces de rechange				c.f. 17.2.3
17.2.3 services extérieurs				5 000
17.2.4 eau sanitaire	prix unitaire ( fr / m3 )			-
17.2.5 eau industrielle	prix unitaire ( fr / m3 )			-
17.2.6 électricité	prix unitaire ( fr / kWh ) 0,11			10 000
17.2.7 énergie pour le chauffage: MAZOUT	prix unitaire ( fr / kWh ) 0,033			23 900
17.2.8 énergie pour le refroidissement: ELECTRICITE	prix unitaire ( fr / kWh ) 0,11			4 900
17.2 frais annuels d'exploitation ( fr / an )			② TOTAL:	71 800
17 coûts annuels de la ventilation ( fr / an )			① + ②	214 480

## Commentaires relatifs au tableau 2

3. Données fournies par SORANE SA (grille d'analyse no 1, rubrique "Utilisation du bâtiment").
- 6.1 Le bâtiment est équipé de deux chaudières de 1200 kW. L'une est opérationnelle alors que l'autre sert de réserve. La part de cette puissance pouvant servir à chauffer l'air est de 690 kW.
- 6.2 Un groupe frigorifique à piston équipe le bâtiment. La puissance électrique du groupe est de 104 kW et sert à absorber une puissance frigorifique de 447 kW (384 000 kcal/h).
- 6.3 Le débit maximum pouvant être pulsé par l'ensemble des ventilateurs est de 124 600 m<sup>3</sup>/h (34,6 m<sup>3</sup>/s). Pour une différence de pression de 1000 Pa, cela correspond à une puissance mécanique de 34,6 kW. Celle-ci correspond à une puissance électrique de 40 kW (rendement 86,5%).
8. Valeur fournie par le Service d'Exploitation de la BEF.
- 12.2 L'exploitation du bâtiment emploie deux concierges à 30% et un chef d'exploitation à 10%. Les coûts d'exploitation sont composés de :
- |                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| Salaires (0,7 homme/an)               | 45 500.-         |
| Services extérieurs (ENTRETEC S.A.)   | 40 000.-         |
| Eau potable                           | 10 000.-         |
| Electricité (11 ct/kWh/               | 180 000.-        |
| Mazout (0,28 fr/kg = 3,3 ct/kWh)      | 52 000.-         |
| <b>Total des coûts d'exploitation</b> | <b>327 500.-</b> |
- 17.2.1 Part estimée par la BEF pour assurer la conduite de l'installation de ventilation.
- 17.2.2 L'entretien et les réparations sont confiées à une entreprise spécialisée. Sur une facture annuelle d'environ fr.s. 40 000, on estime une part d'environ fr.s. 5 000 pour la ventilation.
- 17.2.3
- 17.2.4 La consommation d'eau potable n'est pas prise en considération par manque d'information sur la consommation des laveurs d'air.
- 17.2.5 La consommation d'eau industrielle est inconnue.
- 17.2.6 La consommation d'électricité due à l'équipement de ventilation est inconnue. Afin de situer l'ordre de grandeur de la consommation d'énergie électrique des ventilateurs, on a admis arbitrairement qu'ils fonctionnaient par intermittence et à puissance partielle entraînant une consommation annuelle correspondant à un fonctionnement pendant 10%

du temps à pleine puissance, soit 876 h/an à 104 kW. La consommation annuelle ainsi estimée est de 9 110 kWh/an, correspondant à 0.11 fr/Wh, à un coût annuel de fr.s. 10 000.

- 17.2.7 La consommation de mazout est connue globalement pour des installations de chauffage statiques et les batteries du chauffage de l'air de ventilation. On obtient une estimation de la consommation pour la ventilation en produisant la puissance totale (1200 kW) par la puissance des batteries du chauffage (690 kW). Ainsi, la consommation totale de  $1,576 \cdot 10^6$  soit 906 000 kWh, ce qui représente, au prix du mazout de 0.033 fr/kWh, un coût de fr.s. 29 900.
- 17.2.8 La moyenne annuelle des consommations d'électricité du groupe de froid sur les étés 85, 86 et 87 a été de 44 525 kWh/an, correspondant à des coûts annuels moyens de 4900 fr/an.

Tableau 3

DONNEES GENERALES SUR LE BATIMENT			
1. objet, lieu		AARGAUISCHE KANTONALBANK , WOHLER	
2. date de mise en service		1982	
utilisation du bâtiment	nombre d'occupants	dimensions	
		surface (m <sup>2</sup> )	volume (m <sup>3</sup> )
3.1 banque	92	3665	11 000
3.2			
3.3			
3.4			
3	TOTAL:	92	3665
DONNEES TECHNIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION			
4. type de système de ventilation		BASSE PRESSION , PAS DE PRODUCTION FROID	
5. conception		MOTOR COLUMBUS , BADEN	
6. caractéristiques énergétiques			
fonction	source d'énergie	puissance installée (kW)	
6.1 chauffage de l'air	MAZOUT / GAZ	175	
6.2 production de froid	NEANT	0	
6.3 transport et distribution	ELECTRICITE	8	
6.4 autre:			
7. débit total maximum d'air pulsé (m <sup>3</sup> /h)		6000	

Tableau 3 (suite)

DONNEES ECONOMIQUES SUR LE BATIMENT				
8. coût du bâtiment ( fr )		12 350 000		
9. taux d'intérêt( %/an )		6,0		
10. durée d'amortissement du bâtiment ( an )		60		
11. taux des annuités ( %/an )		6,19		
12.1	frais financiers annuels ( fr / an )	364 465		
12.2	frais d'exploitation annuels ( fr / an )	?		
12.	coûts annuels du bâtiment ( fr / an ) TOTAL:	?		
DONNEES ECONOMIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION				
13. taux d'intérêts ( %/an )		6,0		
	14. coûts directs (fr)	15. durée de vie économique (an)	16. taux d'annuité (%/an)	17.1. annuité (fr/an)
17.1.1	appareils	15	10,30	14 972
17.1.2	gainés / grilles	25	3,82	7 723
17.1.3	robinetterie / tuyauterie	-	-	-
17.1.4	isolation thermique	25	1,82	1 879
17.1.5	organes de réglage	12	11,93	2 431
17.1.6	tableaux élec. / pneu.	25	3,82	1 976
17.1.7	montage / transport	15	10,30	9 827
	TOTAL:	409 199		38 808
17.1.8	coûts indirects (fr) (pas considérés)			-
17.1	frais financiers annuels ( fr / an )		① TOTAL:	38 808
17.2.1	salaires pour conduite, entretien, réparation			6 220
17.2.2	produits, matériel d'entretien/ pièces de rechange			-
17.2.3	services extérieurs			0
17.2.4	eau sanitaire	prix unitaire ( fr / m3 )		-
17.2.5	eau industrielle	prix unitaire ( fr / m3 )		-
17.2.6	électricité	prix unitaire ( fr / kWh )		5 880
17.2.7	énergie pour le chauffage:	prix unitaire ( fr / kWh )		4 900
17.2.8	énergie pour le refroidissement:	prix unitaire ( fr / kWh )		0
17.2	frais annuels d'exploitation ( fr / an )		② TOTAL:	12 590
17	coûts annuels de la ventilation ( fr / an )		① + ②	51 398

### Commentaires relatifs au tableau 3

- 3. Données fournies par BASLER & HOFFMANN (grille d'analyse no 1, rubrique "Utilisation du Bâtiment").
- 6.1 La puissance indiquée est celle de la chaudière. Les parts de cette puissance attribuées au chauffage statique et à la ventilation sont inconnues.
- 6.2 L'humidification de l'air par laveur permet le refroidissement adiabatique de l'air en été. Cela remplace un groupe frigorifique associé à des batteries de refroidissement, éléments coûteux à l'achat et à l'exploitation. Cette technique est toutefois limitée par la teneur en eau de l'eau.
- 6.3 La puissance indiquée ici est celle absorbée nominalement par les deux ventilateurs de pulsion.
- 8. Données fournies par Fischer Architekt A.G. à Zürich.
- 12.2 Données non disponibles.
- 17.1.1 à 17.1.7 Données fournies par le Service d'Exploitation de l'"Aargauischer Kantonalbank" à Wohlen
- 17.2.1 Idem à 17.1.1.
- 17.2.2 Ces coûts sont inconnus.
- 17.2.3 Pas de service extérieur.
- 17.2.4 Valeurs inconnues.
- 17.2.5 Valeurs inconnues.
- 17.2.6 Valeurs estimées par le service d'exploitation de la banque et par le bureau  
17.2.7 d'ingénieurs Motor Columbus, Ingénieurs-Conseils S.A.

Tableau 4

DONNEES GENERALES SUR LE BATIMENT			
1. objet, lieu		BÜROGEBÄUDE "HASLER", WINTERTHUR	
2. date de mise en service		des étages 5 + 6 : 1987	
utilisation du bâtiment	nombre d'occupants	dimensions	
		surface (m <sup>2</sup> )	volume (m <sup>3</sup> )
3.1 bureaux	30	900	3400
3.2			
3.3			
3.4			
3	TOTAL:	30	900 3400
DONNEES TECHNIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION			
4. type de système de ventilation		AIR-AIR, BASSE PRESSION, PULSION PAR LE SOL	
5. conception		GEILINGER A.G., WINTERTHUR	
6. caractéristiques énergétiques			
fonction	source d'énergie	puissance installée (kW)	
6.1 chauffage de l'air	MAZOUT/ELECTRICITE	34,3 / 16,2	
6.2 production de froid	NEANT	0	
6.3 transport et distribution	ELECTRICITE	6	
6.4 autre:			
7. débit total maximum d'air pulsé (m <sup>3</sup> /h)		6720	

Tableau 4 (suite)

DONNEES ECONOMIQUES SUR LE BATIMENT					
8. coût du bâtiment ( fr )					
9. taux d'intérêt( %/an)					
10. durée d'amortissement du bâtiment ( an )					
11. taux des annuités ( %/an)					
12.1	frais financiers annuels ( fr / an )				
12.2	frais d'exploitation annuels ( fr / an )				
12.	coûts annuels du bâtiment ( fr / an ) TOTAL:				
DONNEES ECONOMIQUES SUR LES INSTALLATIONS DE VENTILATION					
13. taux d'intérêts ( %/an) <b>6,0</b>					
	14. coûts directs (fr)	15. durée de vie économique (an)	16. taux d'annuité (%/an)	17.1. annuité (fr/an)	
17.1.1	} 271 000	} 15	} 10,30	} 27 913	
17.1.2					appareils
17.1.3					gaines / grilles
17.1.4					robinetterie / tuyauterie
17.1.5					isolation thermique
17.1.6					organes de réglage
17.1.7					tableaux élec. / pneu.
17.1.7	montage / transport				
	TOTAL:			27 913	
17.1.8	coûts indirects ( fr )			0	
17.1	frais financiers annuels ( fr / an )			① TOTAL: 27 913	
17.2.1	salaires pour conduite, entretien, réparation			1 820	
17.2.2	produits, matériel d'entretien/ pièces de rechange			-	
17.2.3	services extérieurs			0	
17.2.4	eau sanitaire			-	
17.2.5	eau industrielle			-	
17.2.6	électricité			4 022	
17.2.7	énergie pour le chauffage: MAZOUT			832	
17.2.8	énergie pour le refroidissement: -			0	
17.2	frais annuels d'exploitation ( fr / an )			② TOTAL: 6 734	
17	coûts annuels de la ventilation ( fr / an )			① + ② 34 647	

**Commentaires relatifs au tableau 4**

- 3. Données fournies par Geilinger AG à Winterthur.
- 6. Idem.
- 7. Idem.
- 8 à 12 Ces valeurs ne sont pas données car l'étude ne porte que sur les 5e et 6e étages.
- 17.1 Le coût total des installations de ventilation, soit fr.s. 271 000 fourni par Geilinger AG.
- 17.2.1 Données fournies par Geilinger AG et ne comprenant que l'entretien (53 heures à 35 fr/h). Les coûts de réparation ont été élevés en raison de problèmes liés à la mise au point et à la mise en service de l'installation et n'ont pas été communiqués (pas représentatifs).
- 17.2.2 Inconnus.
- 17.2.3 Pas de services extérieurs.
- 17.2.4 Valeurs négligeables.
- 17.2.5 Valeurs négligeables.
- 17.2.6 Données fournies par Geilinger AG.
- 17.2.8 Données fournies par Geilinger AG.

## Annexe 2

## LISTE DES DONNEES DISPONIBLES

.....

## 1 SUR LE FICHER 'ELBXXX DAT'

noDONNEE	noCANAL-GRES	TYPE	GRANDEUR	noCANAL-UNR
1	0	EI	ENERGIE ELECTRIQUE-ARMOIRE VENTILATION	< 0 C >
2	1	EI	ENERGIE ELECTRIQUE-ARMOIRE CHAUFFAGE	< 1 C >
3	2	EI	ENERGIE ELECTRIQUE-VENTILATEUR PULSION	< 2 C >
4	3	CH	CHALEUR-BATIMENT ELB	< 3 C >
5	4	DE	VOLUME-EAU INDUSTRIELLE ELA & ELB	< 4 C >
6	5	DE	VOLUME-EAU CHAUDE VENTILATION ELB	< 5 C >
7	1	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRCULATION SUD	< 1 I >
8	2	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRCULATION NORD	< 2 I >
9	3	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRCULATION VENTIL	< 3 I >
10	4	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRC VENTIL -CONVEC	< 4 I >
11	5	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRCULATION PRIMAIRE 1	< 5 I >
12	6	TF	TAUX DE FONC -ELB CIRCULATION PRIMAIRE 2	< 6 I >
13	8	TF	TAUX DE FONC -ELB4 EXTRACTION SANITAIRE	< 8 I >
14	9	TF	TAUX DE FONC -ELB4 EXTRACTION VIDE SAN	< 9 I >
15	12	TF	TAUX DE FONC -ELB5 EXTR CHAMBRE NOIRE	< 12 I >
16	13	TF	TAUX DE FONC -ELB5 EXTR PHOTOMETRIE	< 13 I >
17	14	TF	TAUX DE FONC -ELB2 PULSION	< 14 I >
18	15	TF	TAUX DE FONC -ELB2 CIRCULATION CHAUFFAGE	< 15 I >
19	16	TF	TAUX DE FONC -ELB2 EXTRACTION	< 16 I >
20	17	TF	TAUX DE FONC -ELB1 PULSION	< 17 I >
21	18	TF	TAUX DE FONC -ELB1 CHAUFFAGE	< 18 I >
22	19	TF	TAUX DE FONC -ELB1 POMPE HUMIDIFICATION	< 19 I >
23	20	TF	TAUX DE FONC -ELB1 EXTRACTION	< 20 I >
24	30	TC	TEMPERATURE-EAU INDUST ELA & ELB REJET	< 30 A >
25	31	TC	TEMPERATURE-EAU INDUST ELA & ELB ALLER	< 31 A >
26	32	TC	TEMPERATURE-CHAUFFAGE VENTIL ELB REJET	< 32 A >
27	33	TC	TEMPERATURE-CHAUFFAGE VENTIL ELB ALLER	< 33 A >
28	34	TC	TEMPERATURE-LOCAL TECHNIQUE	< 34 A >
29	35	TC	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 35 A >
30	36	TC	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 36 A >
31	38	TC	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 38 A >
32	39	TC	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 39 A >

## 2 SUR LE FICHER 'CONSXXX DAT' - CONSOMMATIONS BI-HORAIRE

noDONNEE	noCANAL-GRES	TYPE	GRANDEUR	noCANAL-UNR
33	1	RN	CONSOMMATION ENER. ELECTRIQUE ELB	0+1
34	2	RN	CONSOMMATION CHALEUR ELB	3
35	3	RN	CONSOMMATION D'EAU INDUSTRIELLE A & B	4
36	4	RN	CONSOMMATION FROID ELA & ELB	4*(30-31)*Cp
37	5	RN	VOLUME D'EAU POUR CHAUFFAGE-VENTIL ELB	5
38	6	RN	CONSOMMATION CHAUFFAGE VENTIL ELB	5*(32-33)*Cp
39	7	RN	TEMPERATURE-ELA & ELB REJET EAU IND	< 30 A >
40	8	RN	TEMPERATURE-ELA & ELB ALLER EAU IND	< 31 A >
41	9	RN	TEMPERATURE-CHAUFF -VENTIL ELB REJET	< 32 A >
42	10	RN	TEMPERATURE-CHAUFF -VENTIL ELB ALLER	< 33 A >
43	11	RN	TEMPERATURE-LOCAL TECHNIQUE	< 34 A >
44	12	RN	T F DECALE -ELB CIRCULATION SUD	< 1 I >
45	13	RN	T F DECALE -ELB CIRCULATION NORD	< 2 I >
46	14	RN	T F DECALE -ELB CIRCULATION VENTIL	< 3 I >
47	15	RN	T F DECALE -ELB CIRC VENTIL -CONVEC	< 4 I >
48	16	RN	T F DECALE -ELB CIRCULATION PRIMAIRE 1	< 5 I >
49	17	RN	T F DECALE -ELB CIRCULATION PRIMAIRE 2	< 6 I >
50	18	RN	T F DECALE -ELB4 EXTRACTION SANITAIRE	< 8 I >
51	19	RN	T F DECALE -ELB4 EXTRACTION VIDE SAN	< 9 I >
52	20	RN	T F DECALE -ELB5 EXTR CHAMBRE NOIRE	< 12 I >
53	21	RN	T F DECALE -ELB5 EXTR PHOTOMETRIE	< 13 I >
54	22	RN	T F DECALE -ELB2 PULSION	< 14 I >
55	23	RN	T F DECALE -ELB2 CIRCULATION CHAUFFAGE	< 15 I >
56	24	RN	T F DECALE -ELB2 EXTRACTION	< 16 I >
57	25	RN	T F DECALE -ELB1 PULSION	< 17 I >
58	26	RN	T F DECALE -ELB1 CHAUFFAGE	< 18 I >
59	27	RN	T F DECALE -ELB1 POMPE HUMIDIFICATION	< 19 I >
60	28	RN	T F DECALE -ELB1 EXTRACTION	< 20 I >
61	29	RN	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 35 A >
62	30	RN	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 36 A >
63	31	RN	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 38 A >
64	32	RN	TEMPERATURE-SONDE LIBRE	< 39 A >

## 3 SUR LE FICHER 'BIL24.XXX DAT' BILANS JOURNALIERS

noDONNEE	noCANAL-GRES	TYPE	GRANDEUR	noCANAL-UNR
65	1	RS	CONS JOURNAL ENER ELECTRIQUE ELB	0+1
66	2	RS	CONS JOURNAL CHALEUR ELB	3
67	3	RS	CONSOMMATION D'EAU IND ELA & ELB	4
68	4	RS	CONS JOURNAL FROID ELA & ELB	4*(30-31)*Cp
69	5	RS	VOLUME D'EAU JOURNAL CHAUDE VENTIL ELB	5
70	6	RS	CONS JOURNAL FROID VENTIL SEULE	5*(32-33)*Cp
71	7	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB REJET EAU IND	< 30 A >
72	8	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB ALLER EAU IND	< 31 A >
73	9	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB REJET	< 32 A >
74	10	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB ALLER	< 33 A >
75	11	RM	TEMP MOYEN -LOCAL TECHNIQUE	< 34 A >
76	12	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 35 A >
77	13	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 36 A >
78	14	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 38 A >
79	15	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 39 A >

## 4 SUR LE FICHER 'BIL12.XXX DAT' BILANS NOCTURNES ET DIURNES

noDONNEE	noCANAL-GRES	TYPE	GRANDEUR	noCANAL-UNR
80	1	RS	C NUIT/JOUR ENER ELECTRIQUE ELB	0+1
81	2	RS	C NUIT/JOUR CHALEUR ELB	3
82	3	RS	C NUIT/JOUR D'EAU IND ELA & ELB	4
83	4	RS	C NUIT/JOUR FROID ELA & ELB	4*(30-31)*Cp
84	5	RS	VOLUME D'EAU CHAUDE VENTIL ELB	5
85	6	RS	C NUIT/JOUR FROID VENTIL SEULE	5*(32-33)*Cp
86	7	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB REJET EAU IND	< 30 A >
87	8	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB ALLER EAU IND	< 31 A >
88	9	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB REJET	< 32 A >
89	10	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB ALLER	< 33 A >
90	11	RM	TEMP MOYEN -LOCAL TECHNIQUE	< 34 A >
91	12	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 35 A >
92	13	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 36 A >
93	14	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 38 A >
94	15	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 39 A >

## 5 SUR LE FICHER 'BILTOTXXX DAT' BILANS TOTAUX DE LA SESSION

noDONNEE	noCANAL-GRES	TYPE	GRANDEUR	noCANAL-UNR
95	1	RS	CONS TOTALE ENER ELECTRIQUE ELB	0+1
96	2	RS	CONS TOTALE CHALEUR ELB	3
97	3	RS	CONS TOTALE D'EAU IND ELA & ELB	4
98	4	RS	CONS TOTALE FROID ELA & ELB	4*(30-31)*Cp
99	5	RS	VOLUME TOTAL D'EAU CHAUDE VENTIL ELB	5
100	6	RS	CONS. TOTALE FROID VENTIL SEULE	5*(32-33)*Cp
101	7	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB REJET EAU IND	< 30 A >
102	8	RM	TEMP MOYEN -ELA & ELB ALLER EAU IND	< 31 A >
103	9	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB REJET	< 32 A >
104	10	RM	TEMP MOYEN -CHAUFF -VENTIL ELB ALLER	< 33 A >
105	11	RM	TEMP MOYEN -LOCAL TECHNIQUE	< 34 A >
106	12	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 35 A >
107	13	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 36 A >
108	14	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 38 A >
109	15	RM	TEMPERAURE-SONDE LIBRE	< 39 A >

### **Annexe 3**

#### **Bilans quotidiens des relevés automatiques**

Début des mesures :            jour no 143 :            23 mai 1989

Fin des mesures :            jour no 192 :            11 juillet 1989

Bilan 1 :    énergie électrique consommée par la ventilation et le chauffage  
du bâtiment ELB (kWh)

Bilan 2 :    chaleur consommée par la ventilation et le chauffage du  
bâtiment ELB (kWh)

Bilan 3 :    énergie frigorifique consommée par les bâtiments ELA + ELB (kWh)

TEMPS	BILAN 1	BILAN 2	BILAN 3
143	220	4.00	761
144	214	1.00	792
145	211	0.000E+00	855
146	220	1.00	921
147	60.0	0.000E+00	795
148	57.6	4.00	737
149	224	11.0	780
150	221	5.00	829
151	222	11.0	797
152	189	85.0	723
153	214	98.0	788
154	66.9	3.00	658
155	66.1	139.	658
156	237	380.	647
157	237	323.	688
158	222	250.	662
159	232	228.	697
160	235	154.	708
161	58.7	0.000E+00	690
162	58.4	4.00	721
163	226	51.0	1.671E+03
164	221	4.00	2.514E+03
165	221	1.00	862
166	220	1.00	944
167	222	1.00	892
168	53.5	0.000E+00	741
169	53.8	0.000E+00	742
170	220	0.000E+00	3.365E+03
171	217	0.000E+00	2.888E+03
172	222	0.000E+00	1.150E+03
173	213	0.000E+00	998
174	219	1.00	848
175	57.3	0.000E+00	775
176	55.0	0.000E+00	792
177	211	0.000E+00	1.085E+03
178	213	1.00	1.026E+03
179	215	0.000E+00	929
180	223	0.000E+00	808
181	210	0.000E+00	751
182	53.7	0.000E+00	1.106E+03
183	51.9	0.000E+00	1.276E+03
184	219	2.00	1.169E+03
185	210	0.000E+00	1.158E+03
186	211	0.000E+00	972
187	211	0.000E+00	1.044E+03
188	213	0.000E+00	1.512E+03
189	54.9	0.000E+00	1.184E+03
190	54.8	0.000E+00	1.150E+03
191	213	0.000E+00	1.448E+03
192	212	0.000E+00	1.557E+03
	Somme	8.663E+03	1.763E+03
			5.218E+04

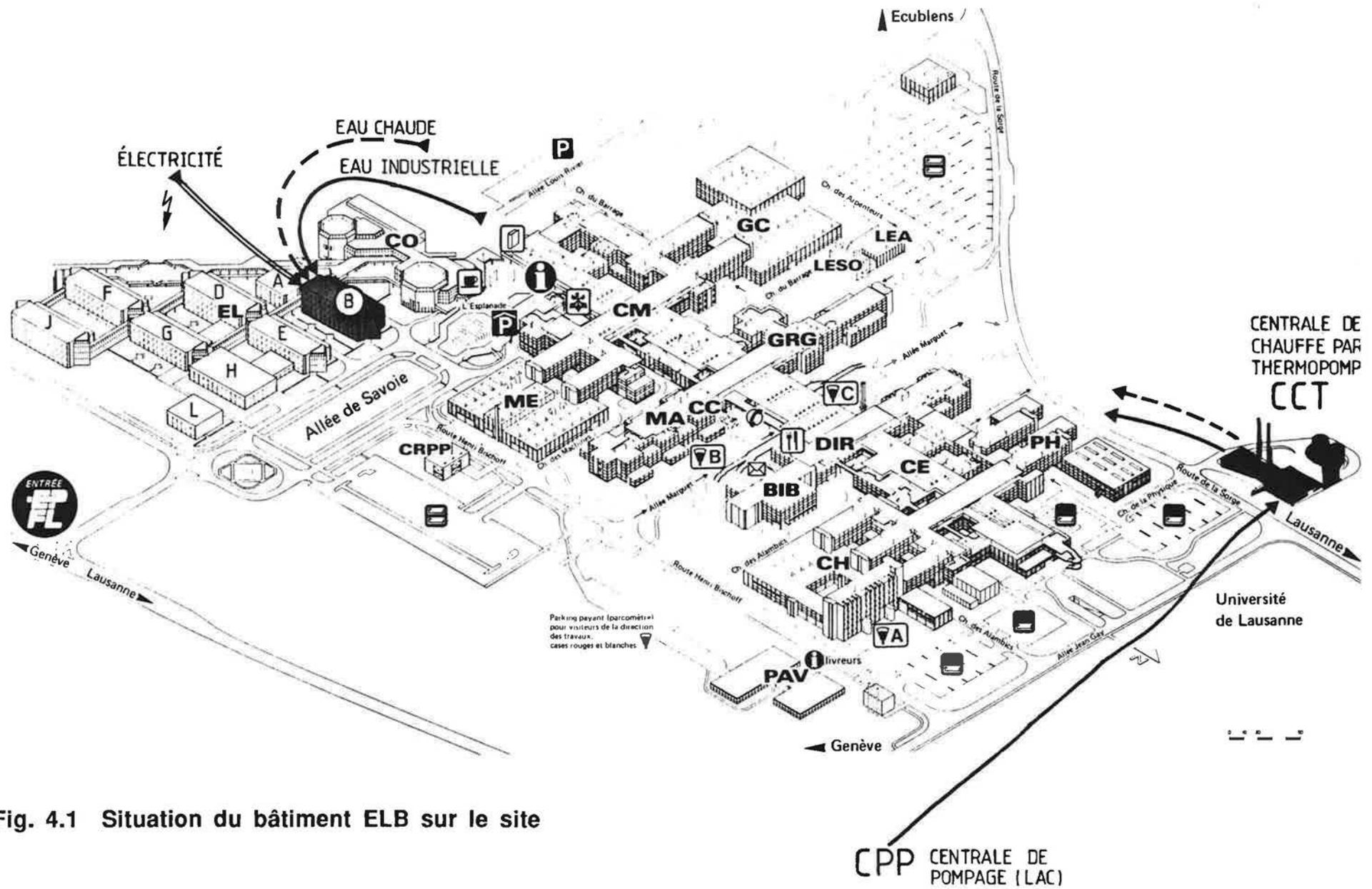


Fig. 4.1 Situation du bâtiment ELB sur le site

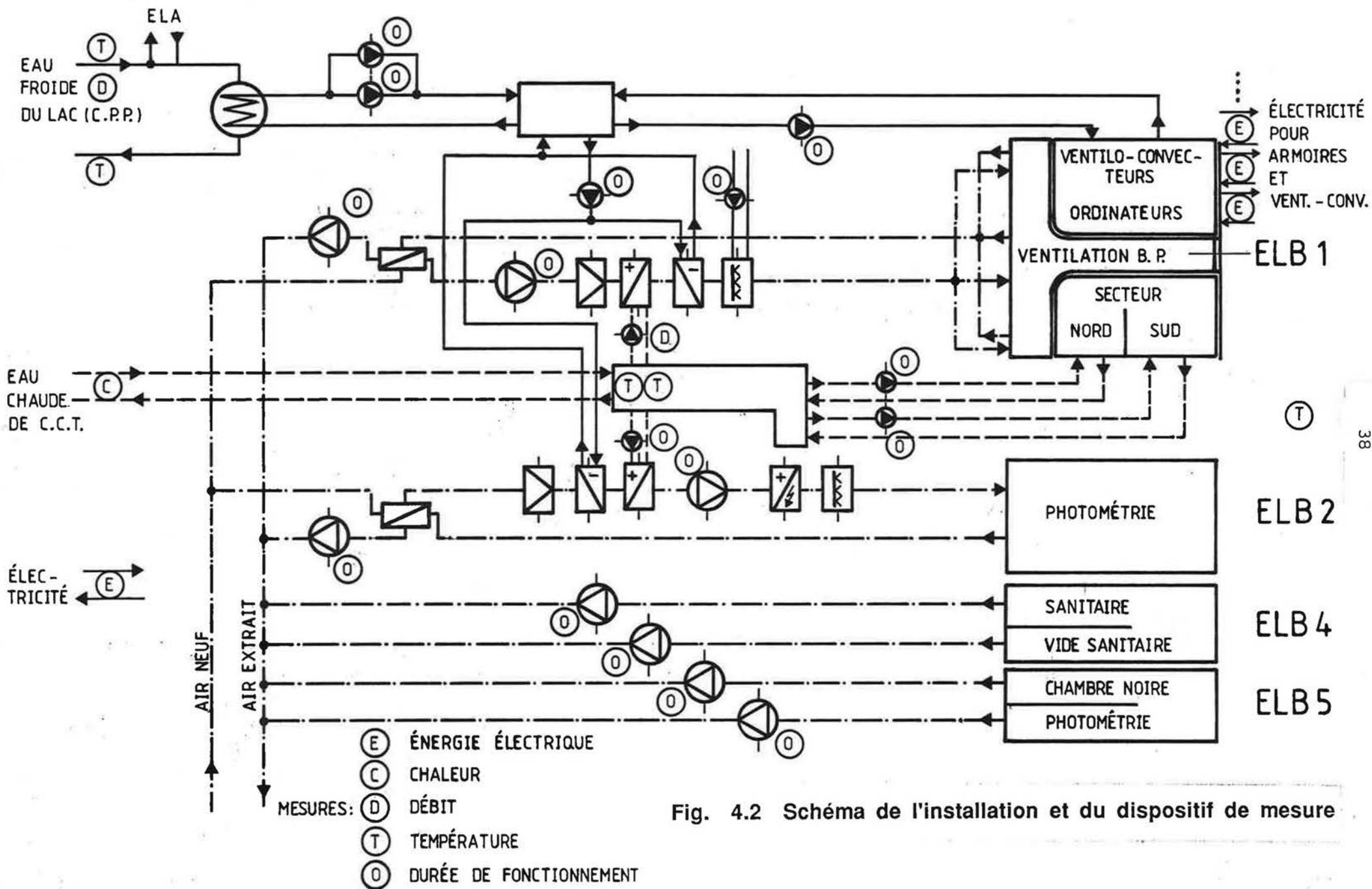
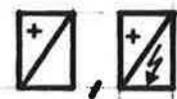


Fig. 4.2 Schéma de l'installation et du dispositif de mesure

Fig. 4.2 bis  
Explication des signes

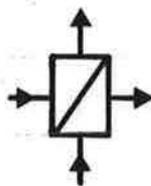
 ventilateur, circulateur

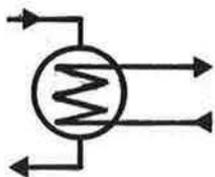
 filtre

 batterie de chauffage (à eau, électrique)

 batterie de refroidissement

 humidificateur, laveur d'air

 récupérateur de chaleur

 échangeur eau - eau

 appareil de mesure

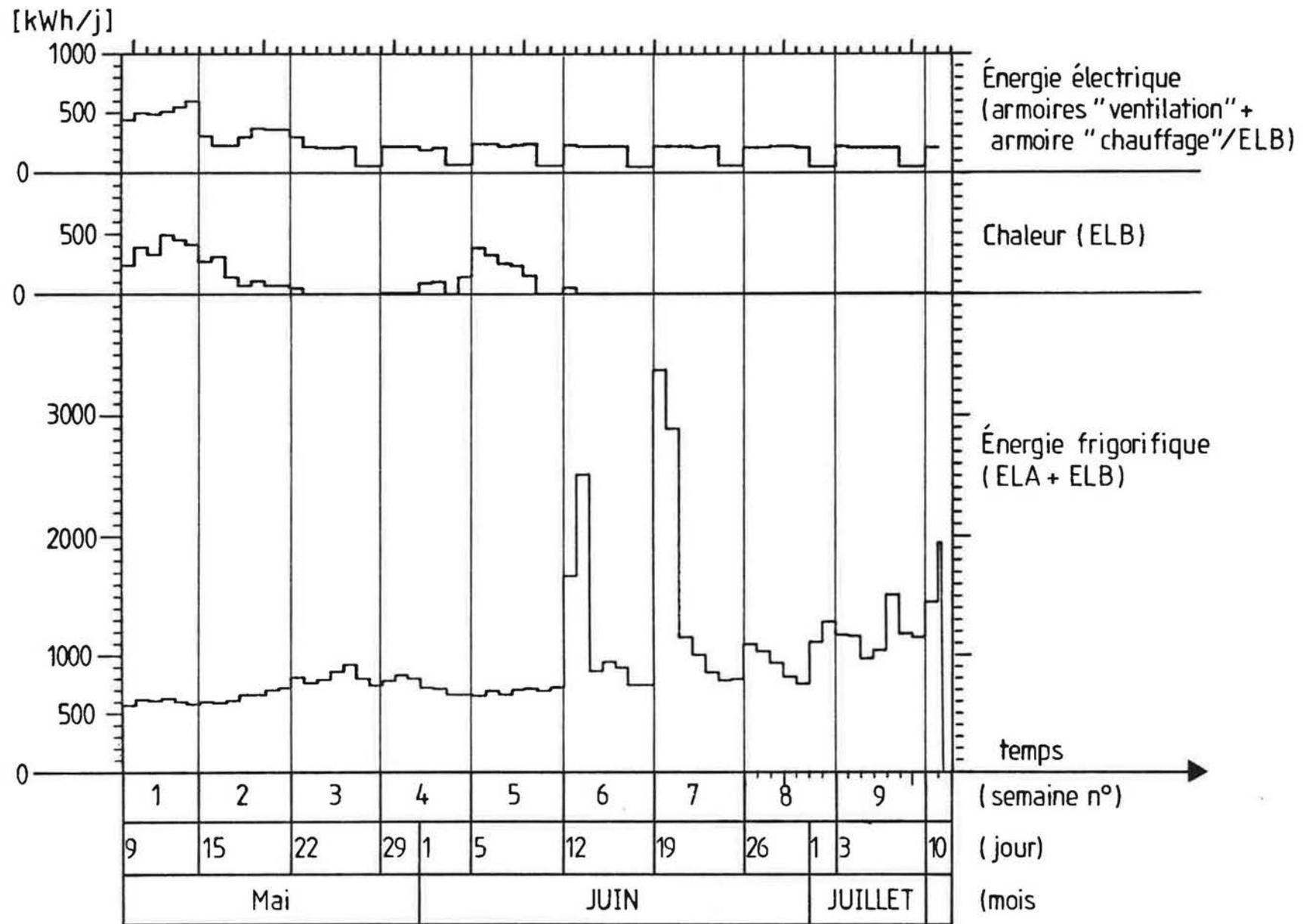
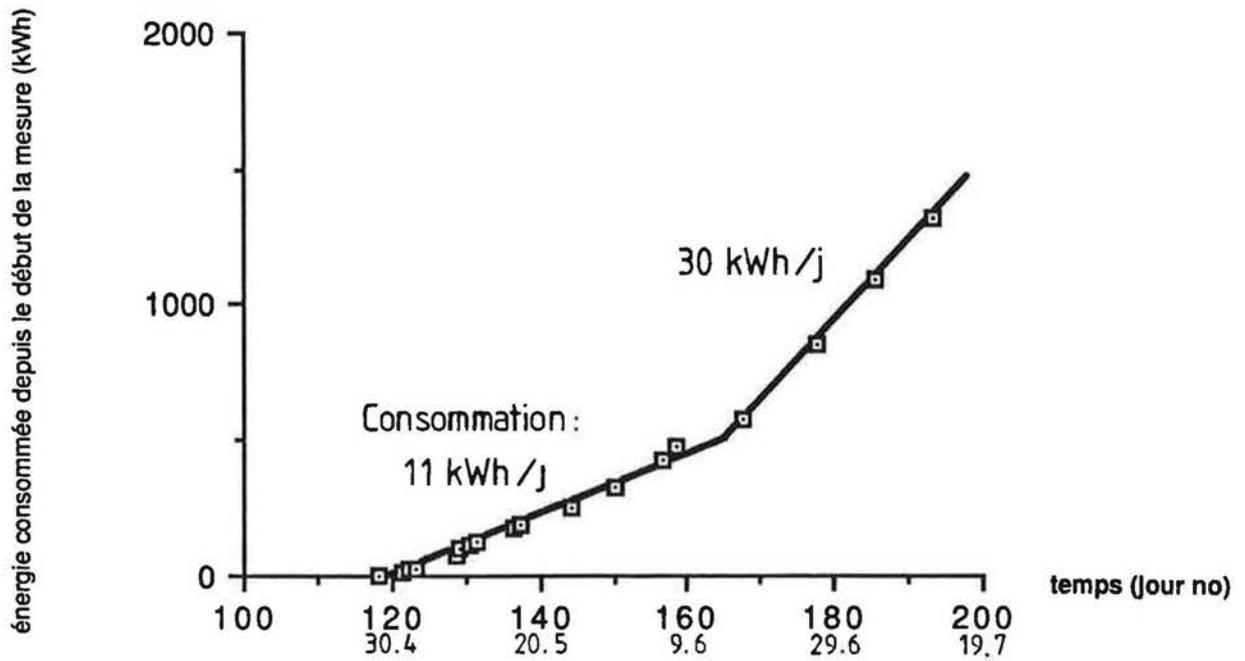
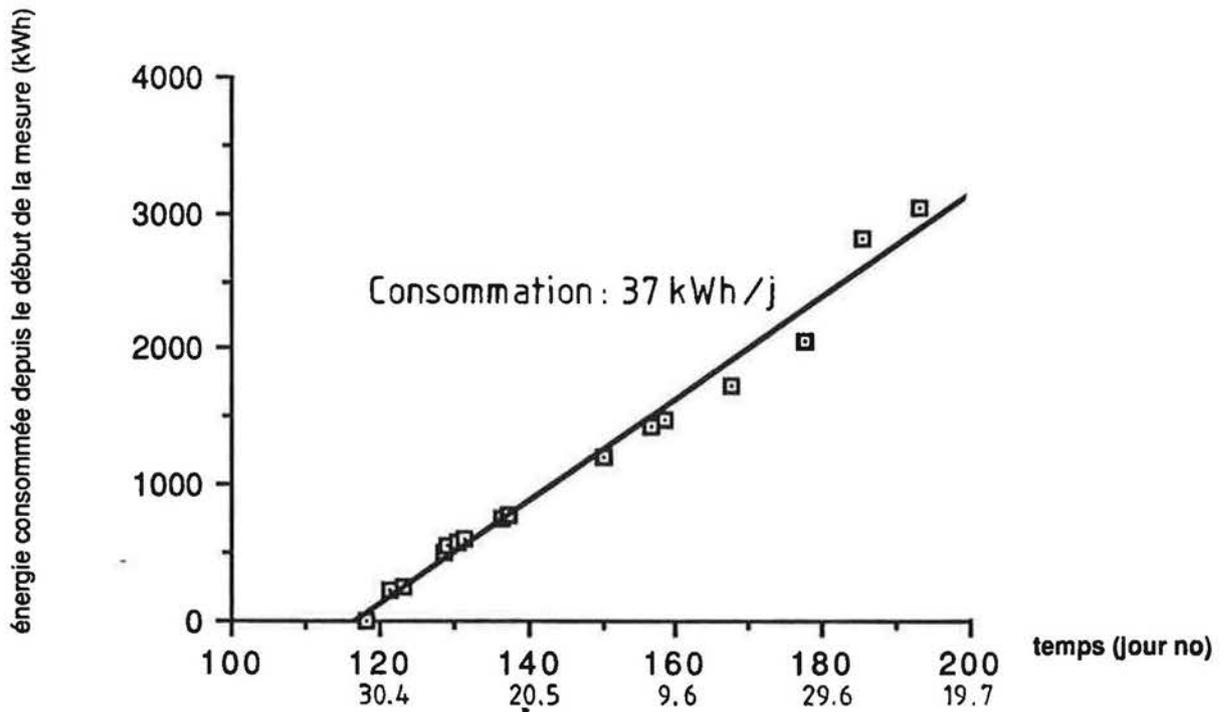


Fig. 4.3 Bilans quotidiens de consommation d'énergie

Fig. 4.4 Relevés manuels des consommations d'énergie électrique

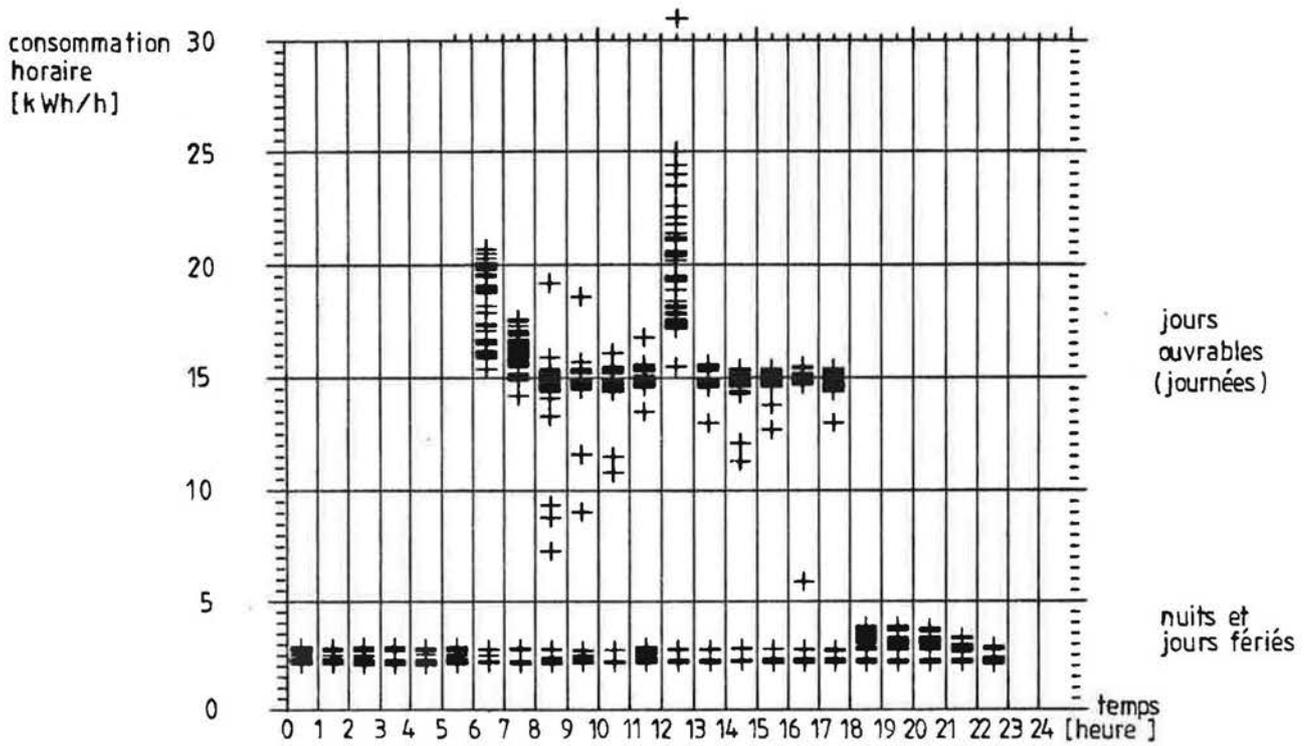


a) ventilo-convecteurs

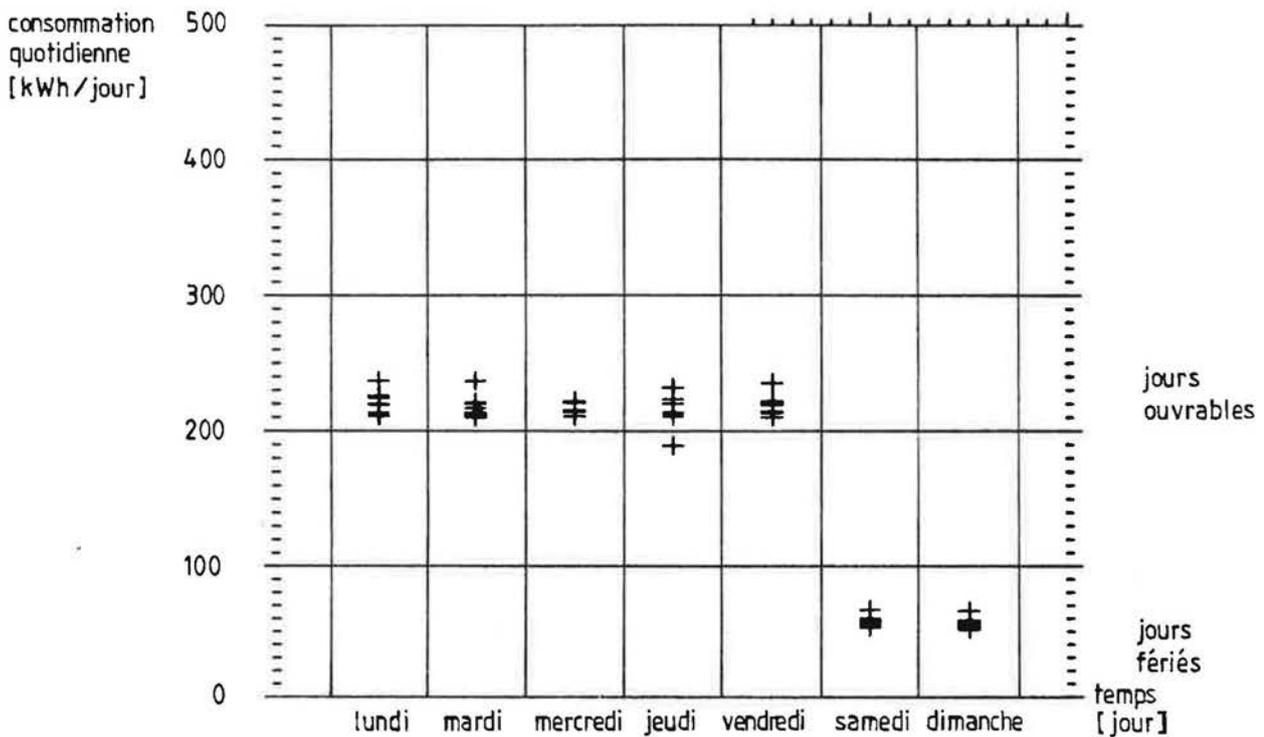


b) armoires de climatisation

Fig. 4.5 Distributions de la consommation d'énergie électrique

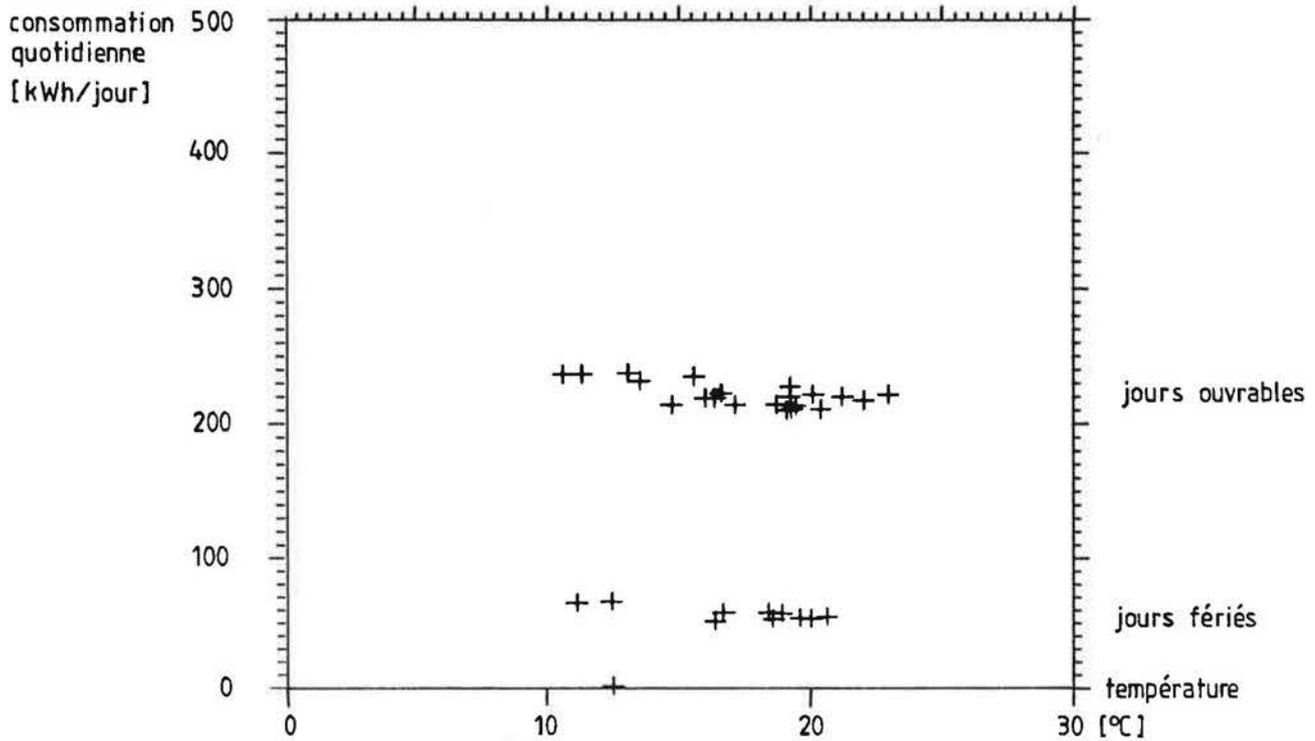


a) distribution quotidienne

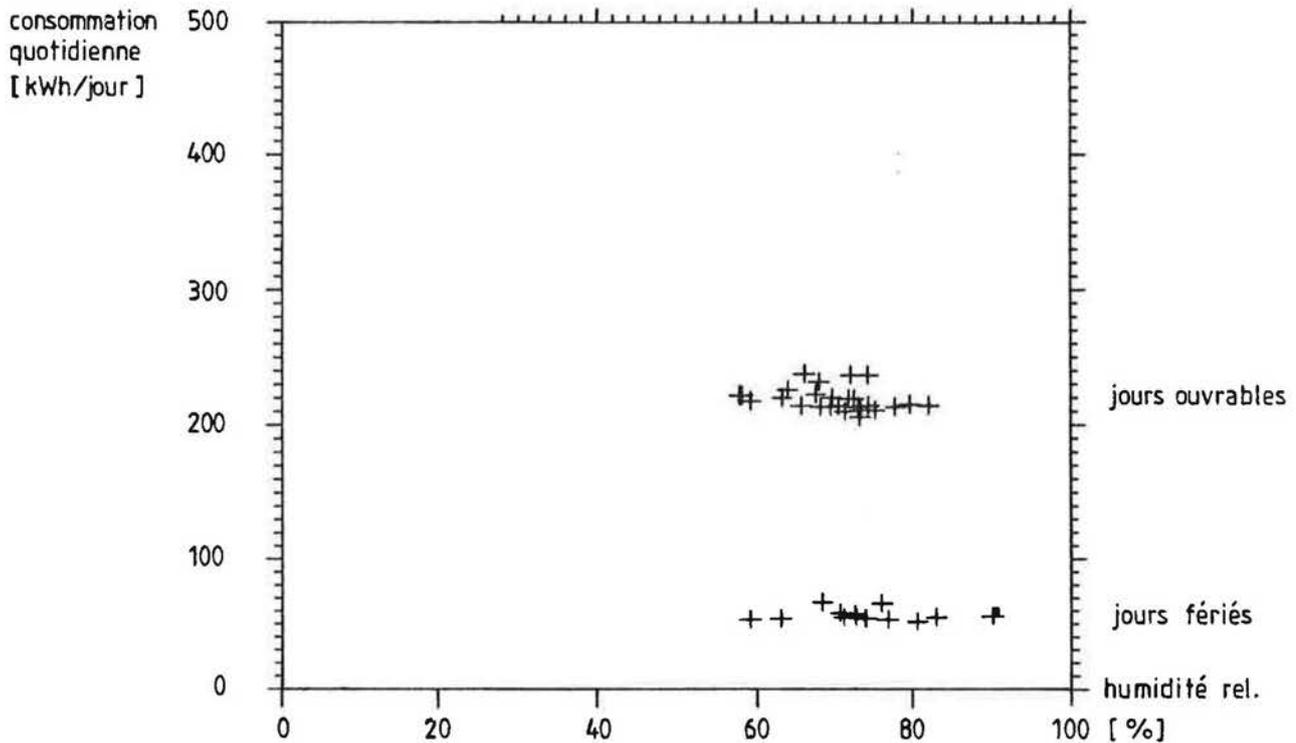


b) distribution hebdomadaire

**Fig. 4.6 Influence des conditions météorologiques sur la consommation d'électricité**

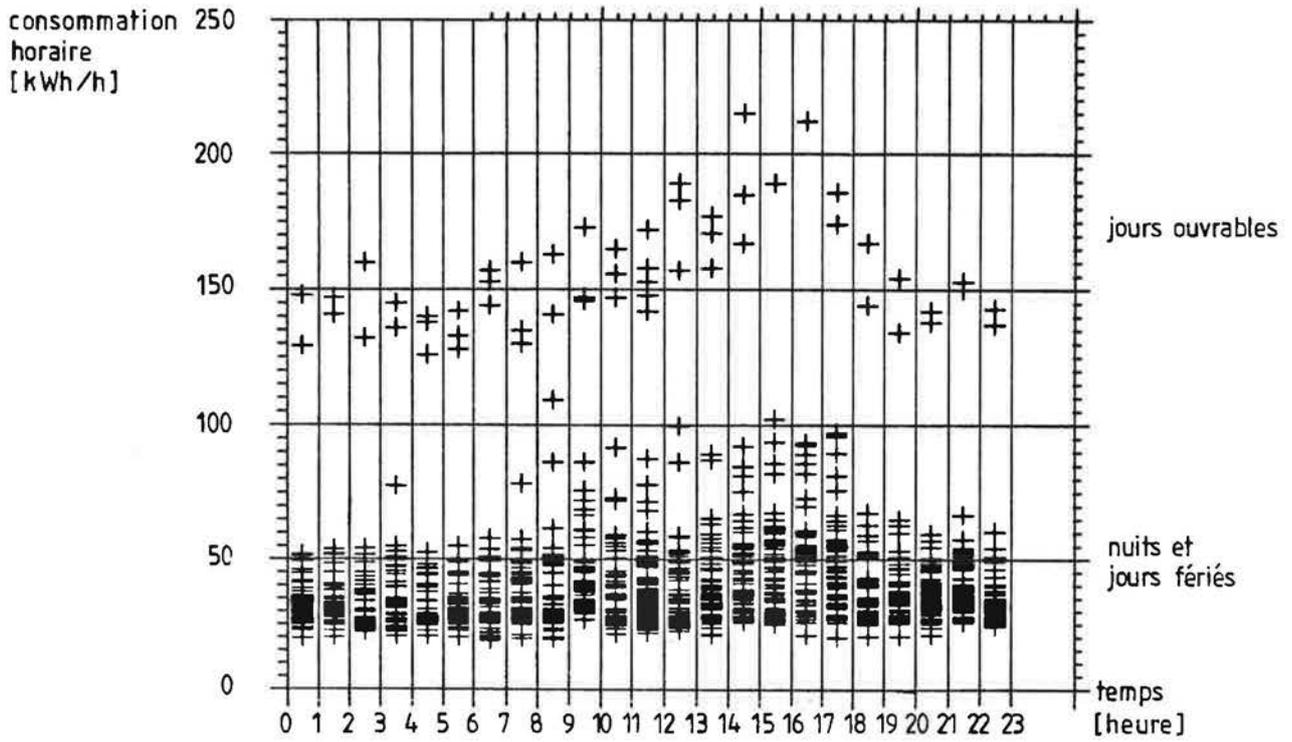


**a) consommation quotidienne en fonction de la température de l'air extérieur**

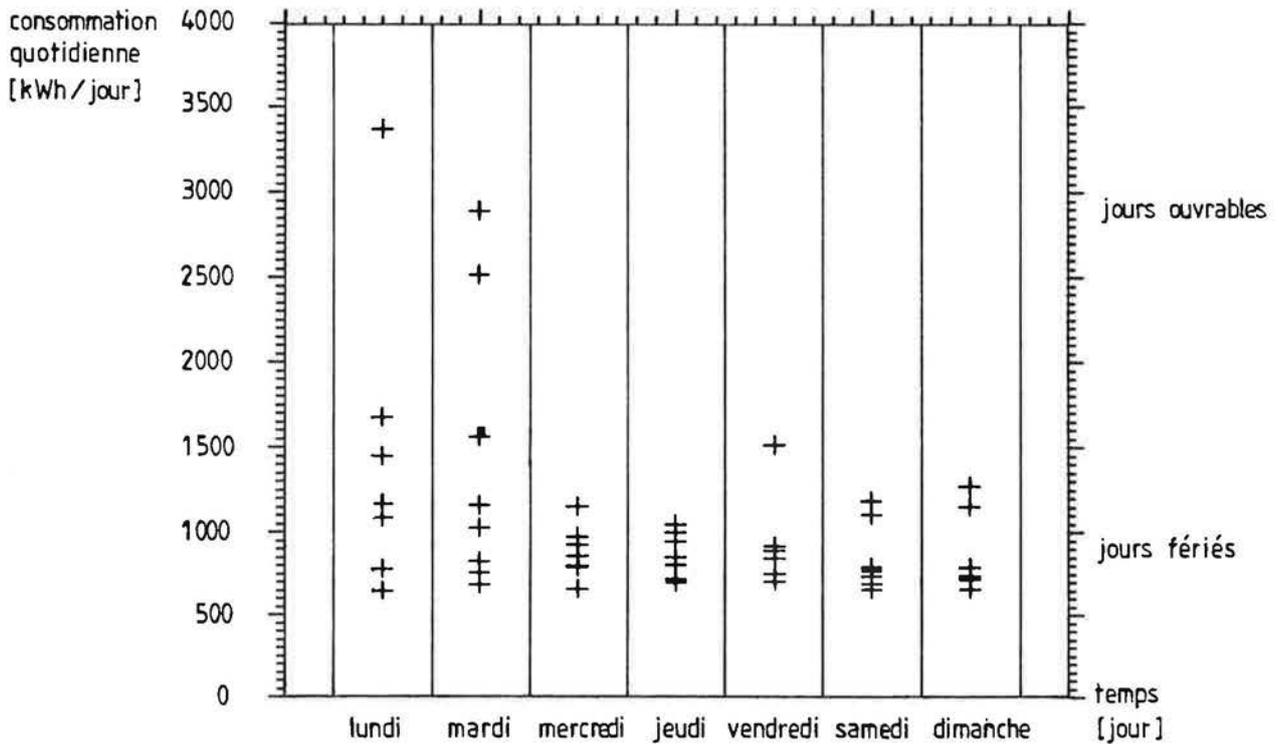


**b) consommation quotidienne en fonction de l'humidité relative de l'air extérieur**

### 4.7 Distributions de la consommation d'énergie frigorifique

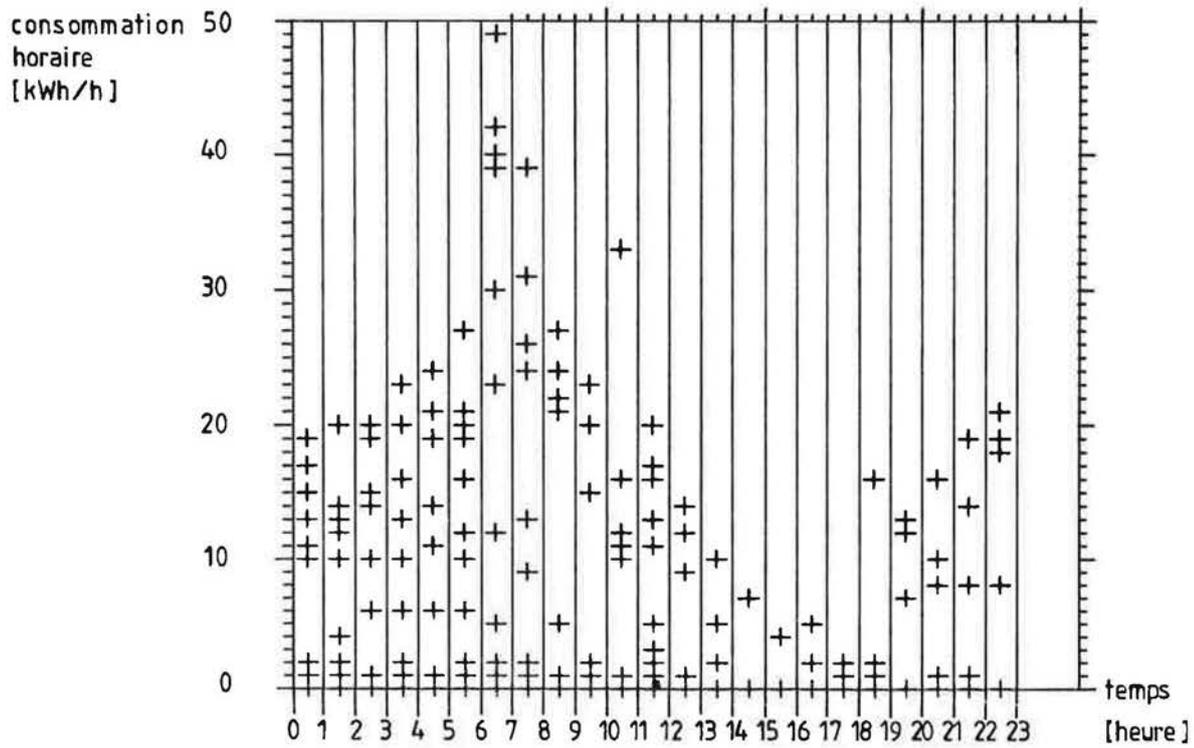


a) distribution quotidienne

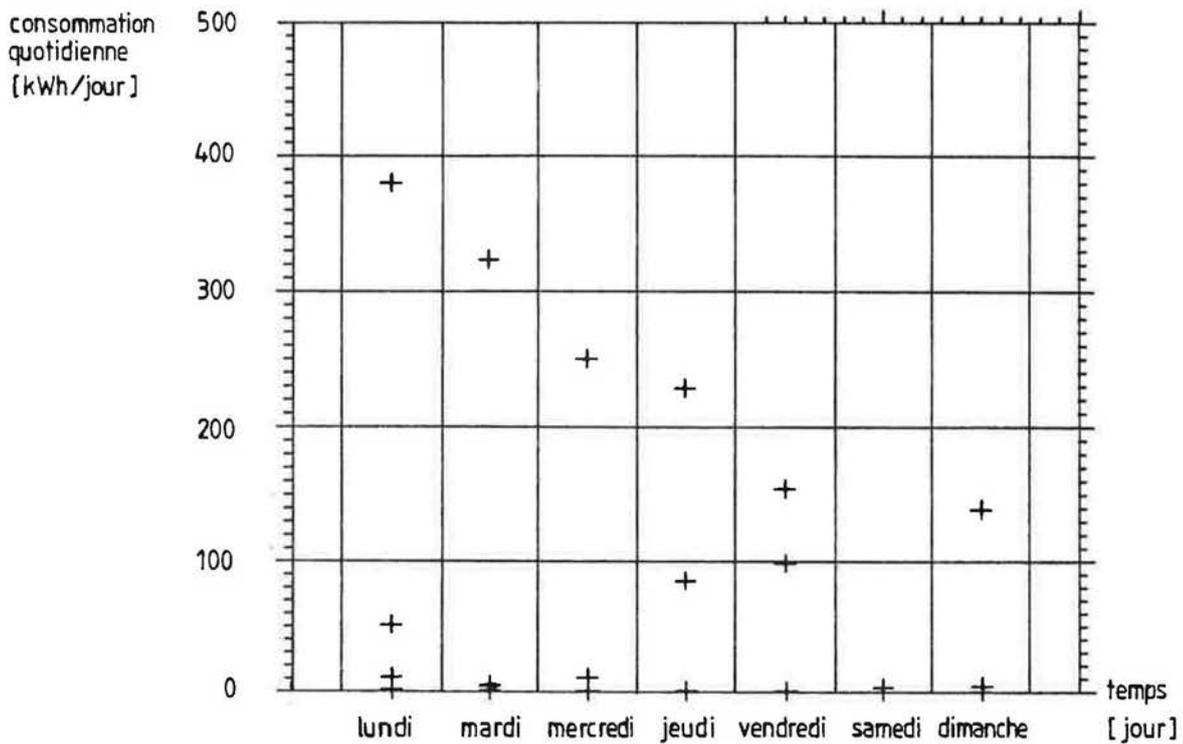


b) distribution hebdomadaire

## 4.8 Distributions de la consommation de chaleur

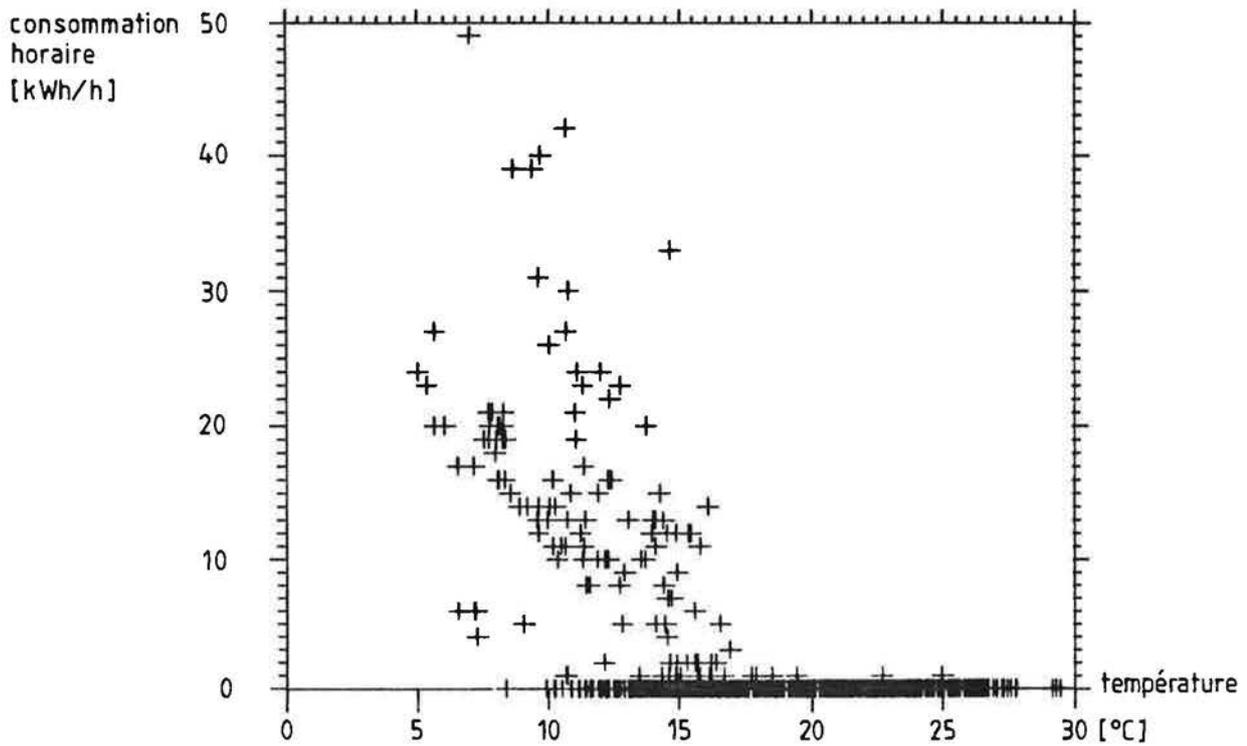


a) distribution quotidienne

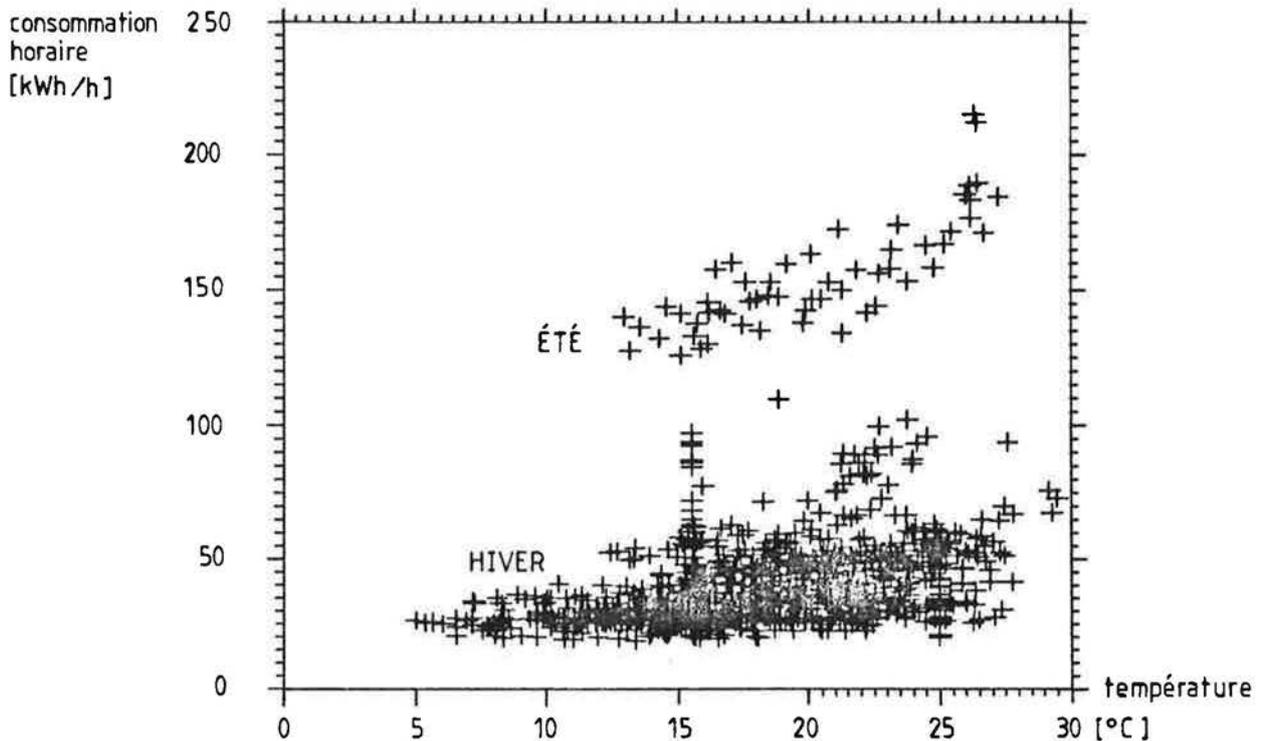


b) distribution hebdomadaire

#### 4.9 Influence de la température de l'air extérieur sur les consommations d'énergie thermique

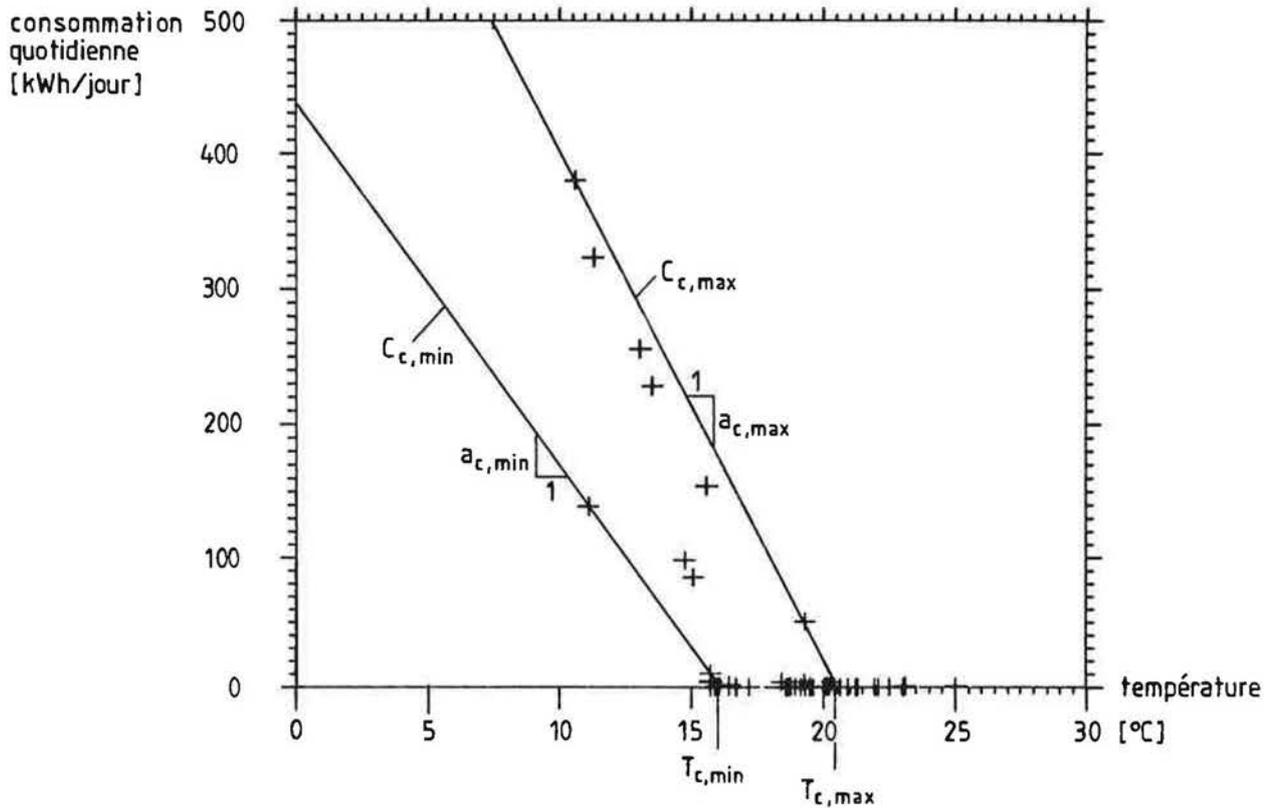


a) consommation horaire de chaleur (ELB)

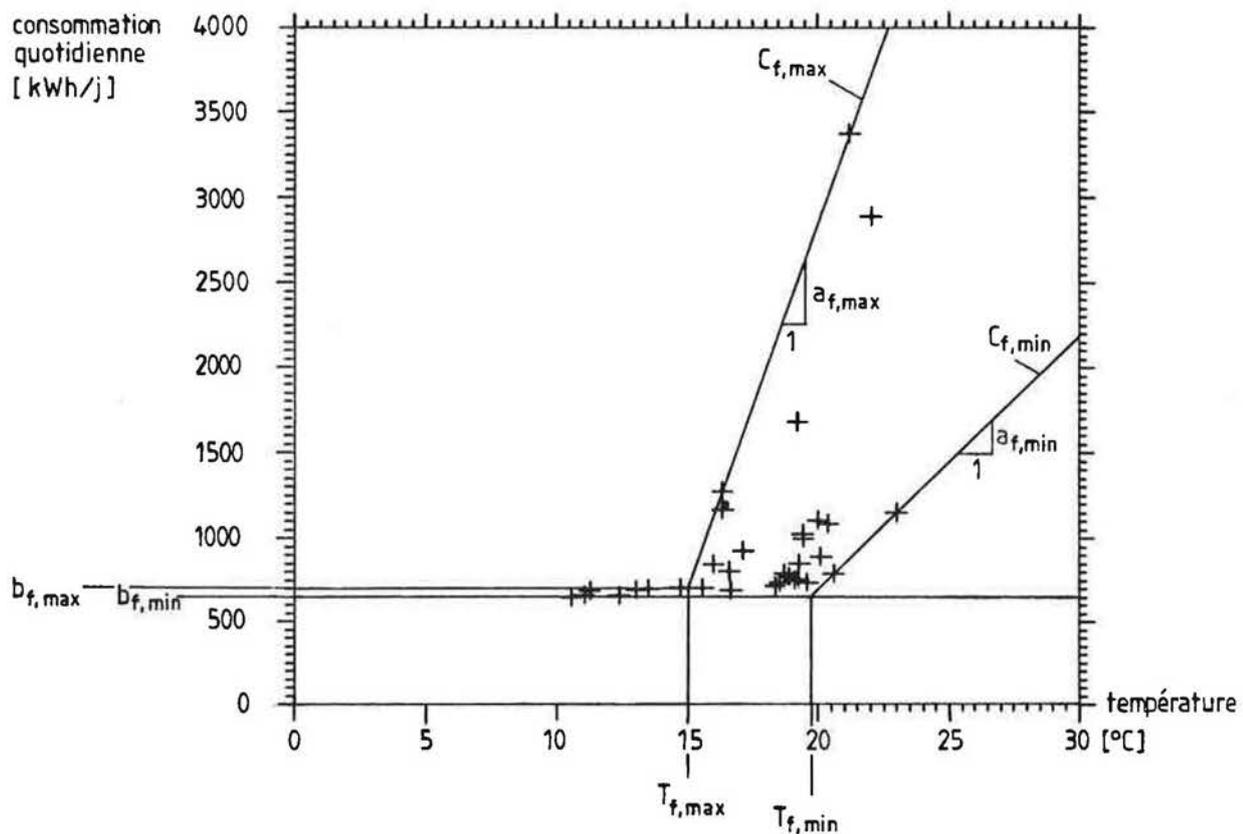


b) consommation horaire d'énergie frigorifique (ELA + ELB)

#### 4.10 Consommation en fonction de la température : mesures et modèles

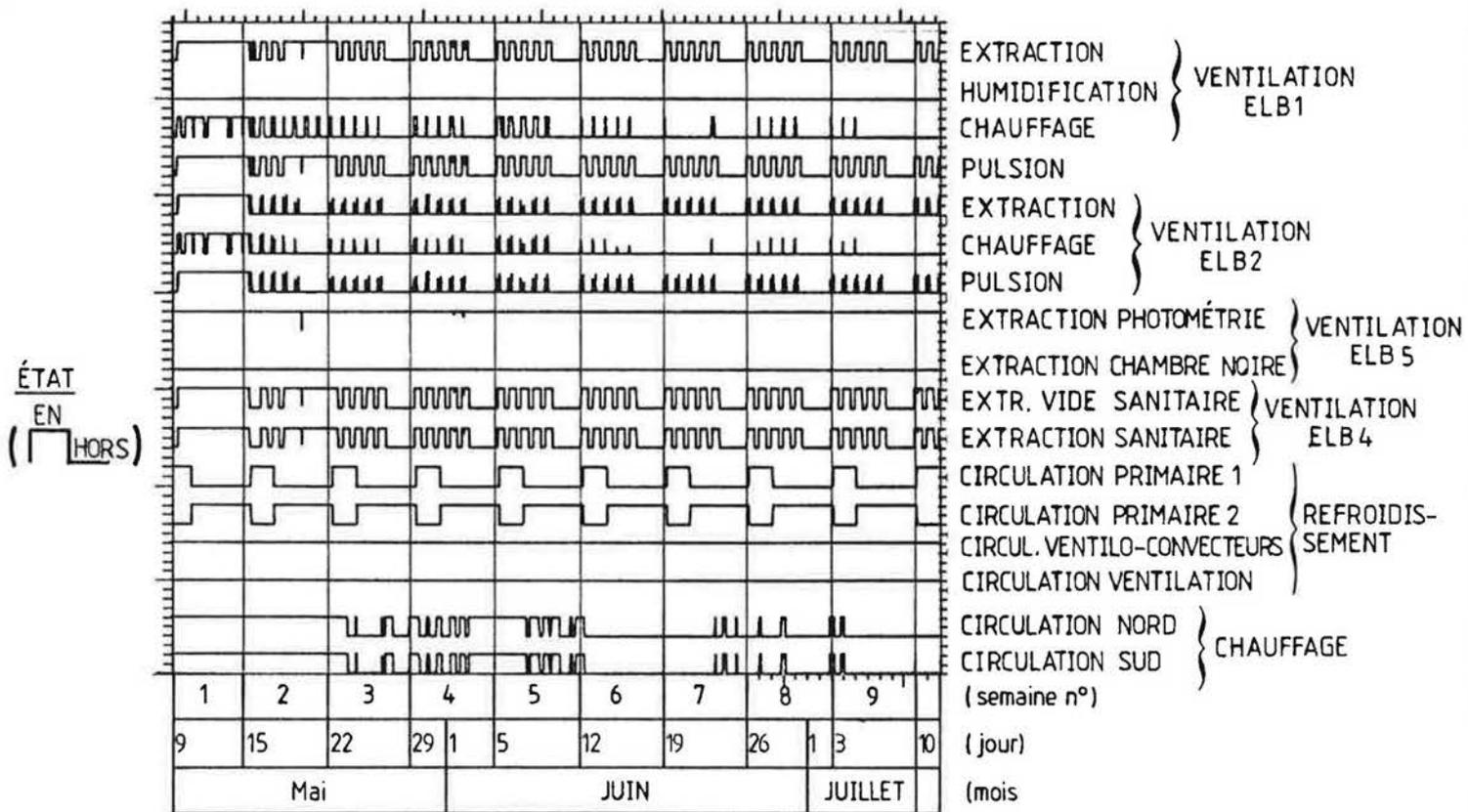


a) consommation quotidienne de chaleur

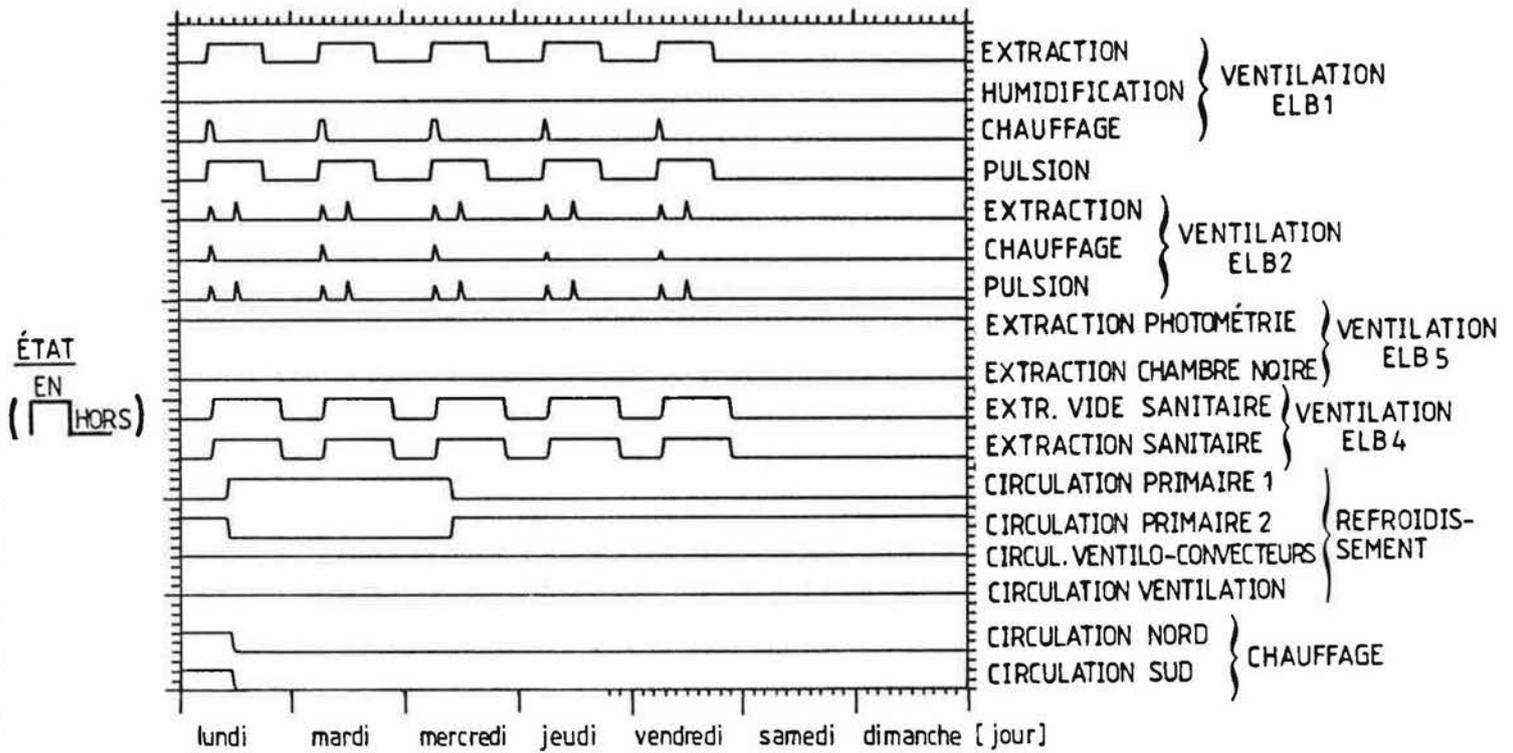


b) consommation quotidienne d'énergie frigorifique

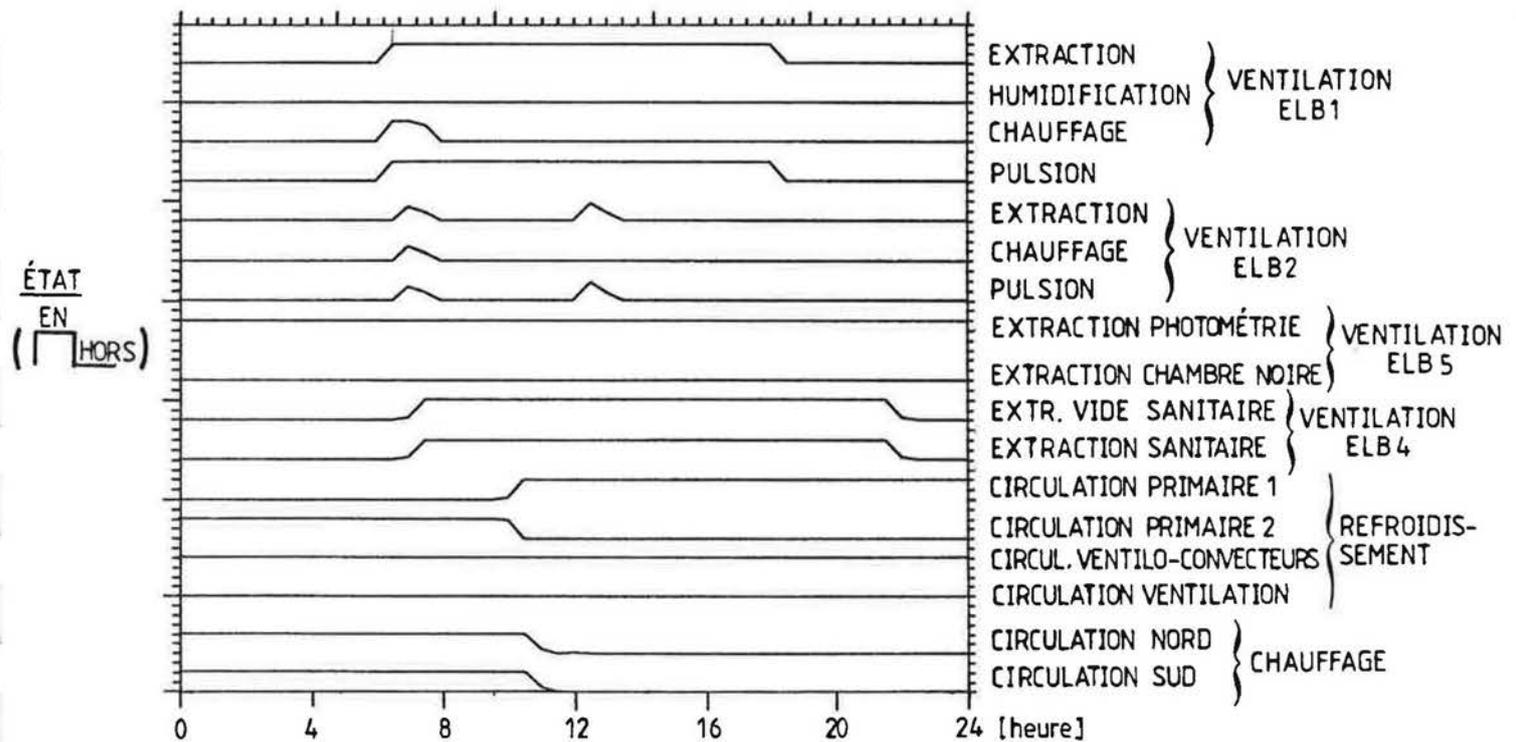
#### 4.11 Diagrammes de fonctionnement



a) sur toute la période de mesure

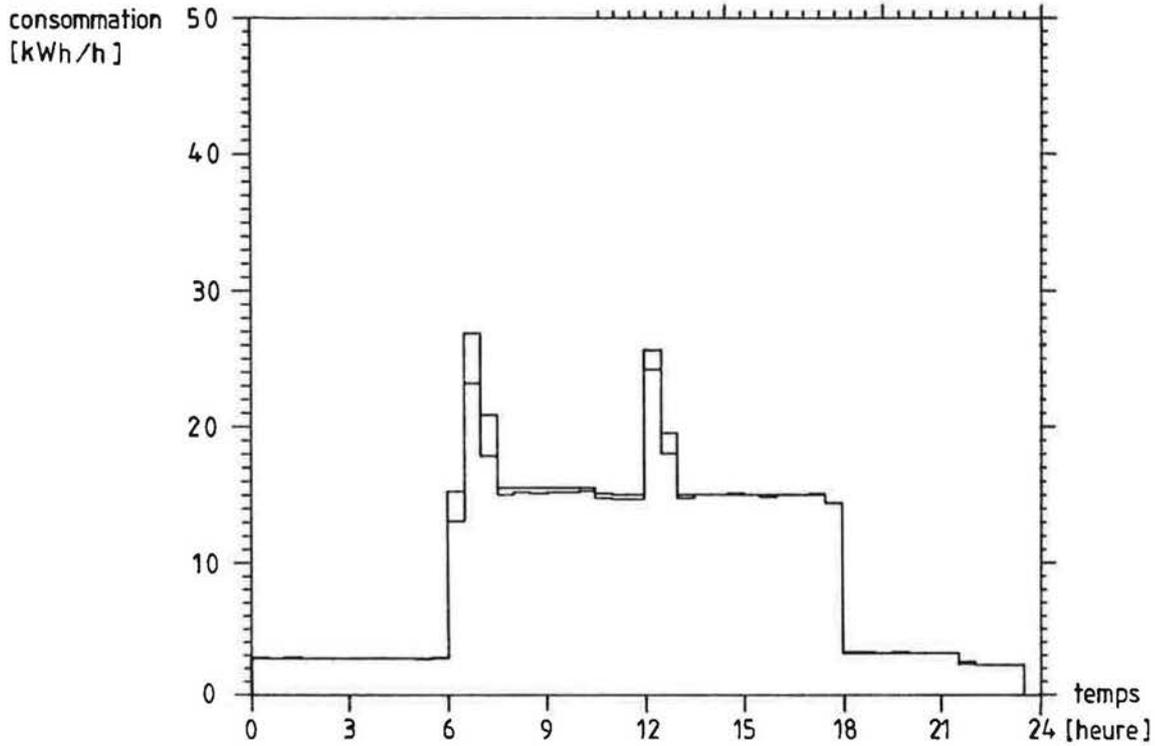


b) sur une semaine (du lundi 12 au dimanche 18 juin)

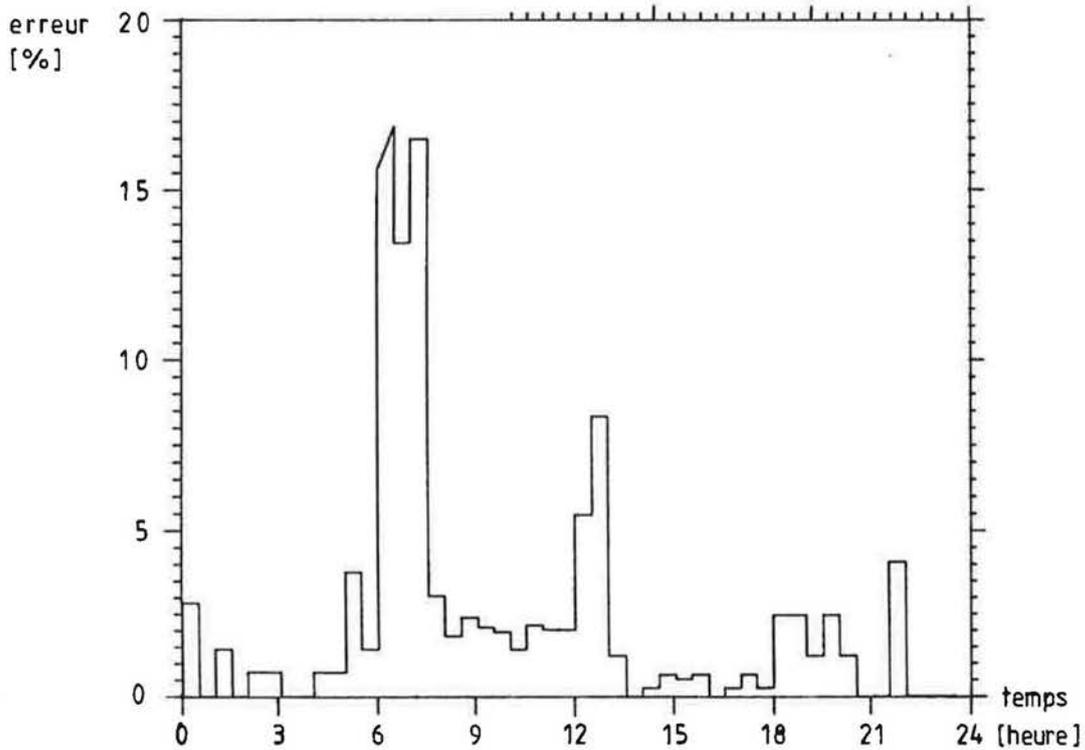


c) sur un jour (12 juin)

#### 4.12 Comparaison entre mesure et estimation



a) consommation horaire mesurée et consommation horaire estimée



b) erreur de l'estimation sur une journée (12 juin)