



Rapport de recherche

1989

Public access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

---

**Bilan énergétique d'un immeuble administratif : une approche simplifiée  
pour l'évaluation du comportement énergétique du bâtiment CAPI**

---

Weber, Willi; Lachal, Bernard Marie; Maiorano, Roger; Guisan, Olivier

**How to cite**

WEBER, Willi et al. Bilan énergétique d'un immeuble administratif : une approche simplifiée pour l'évaluation du comportement énergétique du bâtiment CAPI. 1989

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:79688>

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

Last deposit update in Archive ouverte UNIGE on 15.03.2023 01:04

CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE  
DES PROBLÈMES DE L'



# **BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UN IMMEUBLE ADMINISTRATIF**

**Une approche simplifiée pour l'évaluation du  
comportement énergétique du bâtiment CAPI**

**W. Weber, B. Lachal, R. Maiorano, O. Guisan**



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

SÉRIE DE PUBLICATIONS DU CUEPE N° 37

# **BILAN ENERGETIQUE D'UN IMMEUBLE ADMINISTRATIF**

**Une approche simplifiée pour l'évaluation du comportement  
énergétique du bâtiment CAPI**

**W. Weber, B. Lachal, R. Maiorano, O. Guisan**

Rapport réalisé sur mandat des Syndicats patronaux en collaboration  
avec le service de délégué à l'Energie du canton de Genève.

Décembre 1989

Adresse: CUEPE, 20 rue de l'Ecole - de - Médecine,  
CH - 1211 Genève 4.

## TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>v</b>
<b>1. INTRODUCTION, HISTORIQUE</b>	<b>1</b>
1.1 Origine du projet	1
1.2 Concept énergétique	1
1.3 Etude du solaire actif: les capteurs à air et le stockage	1
1.4 Etude du solaire passif et du bilan global	1
<b>2. DESCRIPTION DU BATIMENT CAPI</b>	<b>3</b>
2.1 Situation et affectation	3
2.2 L'enveloppe	3
2.3 Le système solaire actif	3
2.4 Le système solaire passif	
2.5 Climatisation, chauffage et régulation	3
<b>3. HYPOTHESE ET METHODE DE TRAVAIL</b>	<b>5</b>
3.1 Etude du comportement thermique	5
3.2 Moyens de comptage existants	5
3.3 Déroulement du travail	6
<b>4. RESULTAT DES MESURES</b>	<b>7</b>
4.1 Les mesures	7
4.2 Calcul de l'indice énergétique	10
4.3 Comparaison des indices énergétiques	11
<b>5. CALCUL DU BILAN THERMIQUE</b>	<b>14</b>
5.1 Description des mesures et des hypothèses de calcul	14
5.2 Le défaut de bilan	25
<b>6. ANALYSE DU BILAN THERMIQUE</b>	<b>26</b>
6.1 Récupération de la chaleur évacuée du centre informatique	26
6.2 Déperditions thermiques à travers l'enveloppe et par renouvellement d'air	26
6.3 Récupération de l'énergie	29
6.4 Les apports internes	29
6.5 Utilisation de l'énergie solaire	30
6.6 Installations techniques pour le chauffage, la climatisation et la régulation	32

<b>7. PROPOSITION D'INTERVENTIONS PERMETTANT DE REDUIRE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DU BATIMENT</b>	<b>35</b>
7.1 Proposition 1, amélioration du comportement énergétique du CAPI sans modifications importantes des installations	35
7.2 Proposition 2, amélioration énergétique du CAPI avec modification des installations	37
7.3 Proposition 3, amélioration énergétique du CAPI dans l'hypothèse d'un nouveau projet	37
<b>8. CONCLUSIONS: LES LEÇONS DE CETTE EXPERIENCE</b>	<b>38</b>
8.1 Comportement global du CAPI	38
8.2 Les leçons de cette expérience	38
<b>REFERENCES</b>	<b>41</b>
<b>ANNEXE 4.1</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXE 5.1</b>	<b>43</b>

## AVANT-PROPOS

Le CAPI est un immeuble administratif des Syndicats patronaux mis en service fin 1983. Une attention particulière fut portée sur sa conception énergétique, impliquant, entre autres, des dispositifs tels que récupération de chaleur et captage solaire. Il était donc intéressant de vérifier qu'une telle volonté initiale d'économie d'énergie se traduisait effectivement dans les faits.

Les Syndicats patronaux d'entente avec le Délégué à l'énergie du canton de Genève ont demandé en 1987 au CUEPE une étude du comportement énergétique global du CAPI.

Une stratégie de mesures a donc été établie pour permettre l'évaluation du bilan énergétique et thermique de l'immeuble et pour vérifier la qualité des prestations escomptées ainsi que le bon fonctionnement des installations en cause (chauffage, ventilation, climatisation).

Ce rapport est la synthèse des mesures effectuées entre avril 1988 et fin mars 1989, ainsi que les interprétations auxquelles elle donne lieu. Il apparaît ainsi que les prestations réelles sont inférieures aux prestations prévues. Ces résultats permettent également de prévoir et quantifier des améliorations possibles.

Suite à ce rapport les Syndicats patronaux ont mandaté un ingénieur pour mettre en oeuvre les améliorations proposées par le rapport. Un nouveau bilan énergétique, après l'exécution de ces travaux, permettra d'en vérifier l'efficacité.

Nous remercions pour les contributions diverses à ce travail: M. D. Julliard, architecte du CAPI, M. A. Zakher, ingénieur conseil, les entreprises Chaleur S.A. et Johnson Controls S.A, Messieurs Deront et Paillard, responsable de la gestion et de l'entretien de la climatisation et du chauffage, les occupants de l'immeuble CAPI.

## 1. INTRODUCTION, HISTORIQUE

### 1.1 Origine du projet

En 1977 les locaux du Centre interprofessionnel, au 98, rue de St-Jean, sont saturés et il devient nécessaire de trouver des surfaces supplémentaires pour transférer certains services.

Propriétaire de deux immeubles, 65 et 67, rue de St-Jean, les Syndicats patronaux obtiennent l'autorisation de démolir ces deux immeubles et d'en changer l'affectation, étant donné leur état de vétusté et la nuisance due aux trafics tant ferrovière que routier.

Le maître de l'ouvrage et l'architecte décident de profiter de la réalisation de cette nouvelle construction pour "contribuer au développement et à la recherche dans le domaine des économies d'énergie et de l'utilisation active de l'énergie solaire" (1).

### 1.2 Concept énergétique

Dans ce but, le Groupe Energie Solaire de l'Ecole polytechnique de Lausanne, sous la direction du professeur Faist, est chargé, dès 1979, de définir un concept énergétique pour ce bâtiment.

Sur la base de cette étude, l'enveloppe et les installations sont réalisées de façon à conserver et recycler l'énergie dans le bâtiment et utiliser l'énergie solaire active et passive pour le chauffage des locaux (2).

Le bâtiment est achevé fin 1983 et dès sa mise en service, l'Office fédéral de l'énergie, OFEN, finance une recherche (3) pour l'évaluation des systèmes d'utilisation de l'énergie solaire passive et active.

### 1.3 Etude du solaire actif: les capteurs à air et le stockage

L'étude et la mesure du système actif, des 80 m<sup>2</sup> de capteurs à air et principalement du comportement du stockage à eau, furent réalisées par le Laboratoire de thermodynamique et énergétique du professeur Gianola en 1985 (4).

### 1.4 Etude du solaire passif et du bilan global

L'étude et la mesure du système passif de captage de l'énergie solaire restaient à faire. Il fallait aussi répondre à la question des Syndicats patronaux : le bâtiment fonctionne-t-il comme prévu ?

A leur demande, W.Weber, architecte, collaborateur au CUEPE et enseignant à l'Ecole d'Architecture de Genève, élabore un projet d'étude des performances du système solaire passif, comprenant également une évaluation du comportement thermique de l'ensemble du bâtiment.

Sur la base de ce projet un groupe de travail est créé comprenant le Bureau du délégué à l'énergie et le Centre universitaire d'étude des problèmes d'énergie, CUEPE.

Ce document est le compte rendu du travail réalisé par le Centre universitaire pour l'étude des problèmes de l'énergie. Il tente principalement de répondre à trois questions :

- Le CAPI fonctionne-t-il comme prévu ?
- L'énergie solaire est-elle un appoint utile ?
- Quelles leçons peut-on tirer de cette expérience ?

## 2 DESCRIPTION DU BATIMENT CAPI

### 2.1 Situation et affectation (1)(2)

Le CAPI forme la pointe d'un îlot du XIXe siècle. Il respecte le gabarit et reprend, dans sa façade, certains thèmes des immeubles voisins (figures 2-1 et 2-2).

Sa destination est administrative. Il comprend un rez-de-chaussée avec les entrées et l'accueil, cinq étages de bureaux, un attique pour les locaux techniques et deux niveaux en sous-sols de dépôts et d'abris.

### 2.2 L'enveloppe

Les murs de façades en béton sont porteurs pour dégager l'intérieur et garantir la souplesse d'aménagement des bureaux.

L'isolation est extérieure et recouverte d'un bardage de tôles thermolaquées.

Les fenêtres comportent des menuiseries métalliques, des triples vitrages et sont protégées par des stores extérieurs à lamelles. Partiellement accessible au-dessus des bureaux, la toiture utilise les panneaux solaires pour couvrir l'attique.

### 2.3 le système solaire actif

80 m<sup>2</sup> de capteurs à air situés sur la toiture permettent de préchauffer l'air de climatisation ou de chauffer un stockage à eau.

### 2.4 le système solaire passif

Les fenêtres de la façade sud sont disposées en fonction des ombres portées de manière à profiter au maximum de l'ensoleillement d'hiver. Le système de ventilation permet de transmettre les gains solaires dans les zones peu ensoleillées.

### 2.5 climatisation, chauffage et régulation

Le système de climatisation et de chauffage (figure 2.3) est un système à air. Le chaud et le froid sont fournis par les installations de l'immeuble voisin.

Les concepteurs ont tenu compte de toutes les possibilités de récupération d'énergie. On trouve ainsi, dans l'ordre:

- . Un prétraitement général, composé de:
  - un 1er préchauffage de l'air neuf par récupération de chaleur sur l'air extrait,
  - un 2e préchauffage de cet air par le système solaire actif,
  - un 3e préchauffage par récupération sur l'EDPAC des ordinateurs,
  - une humidification.
- . Un traitement séparé pour les 4 zones du bâtiment, composé de:
  - un mélange d'air prétraité - air neuf - air recyclé, dont les proportions sont réglables,
  - un traitement de l'air pulsé, fonction des conditions extérieures (température, ensoleillement),
  - une thermostatisation de l'air ambiant par local, grâce à un postchauffage par récupération sur l'EDPAC des ordinateurs ou par l'eau chaude de la chaufferie.

Figure 2-1 façades du bâtiment CAPI

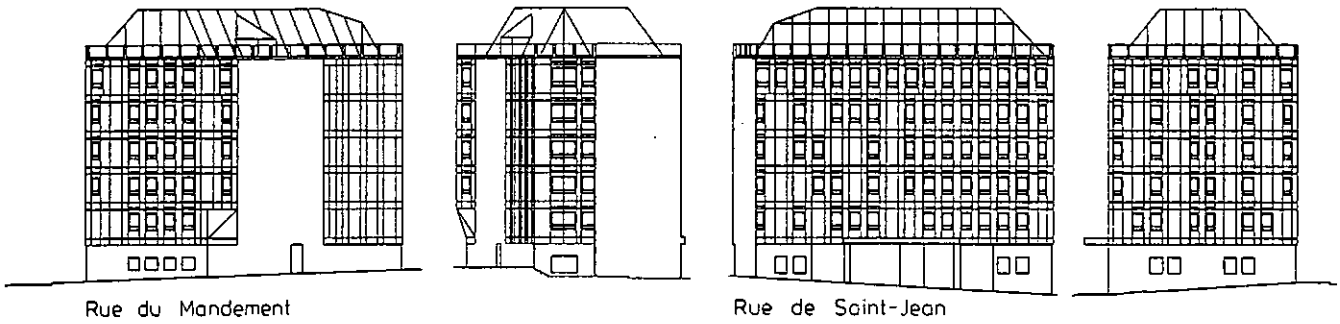


Figure 2-2 plan d'étage type

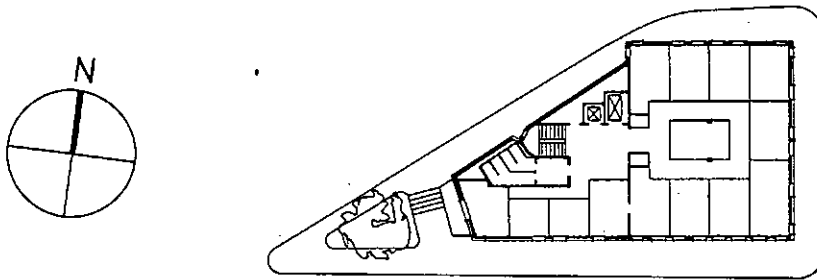
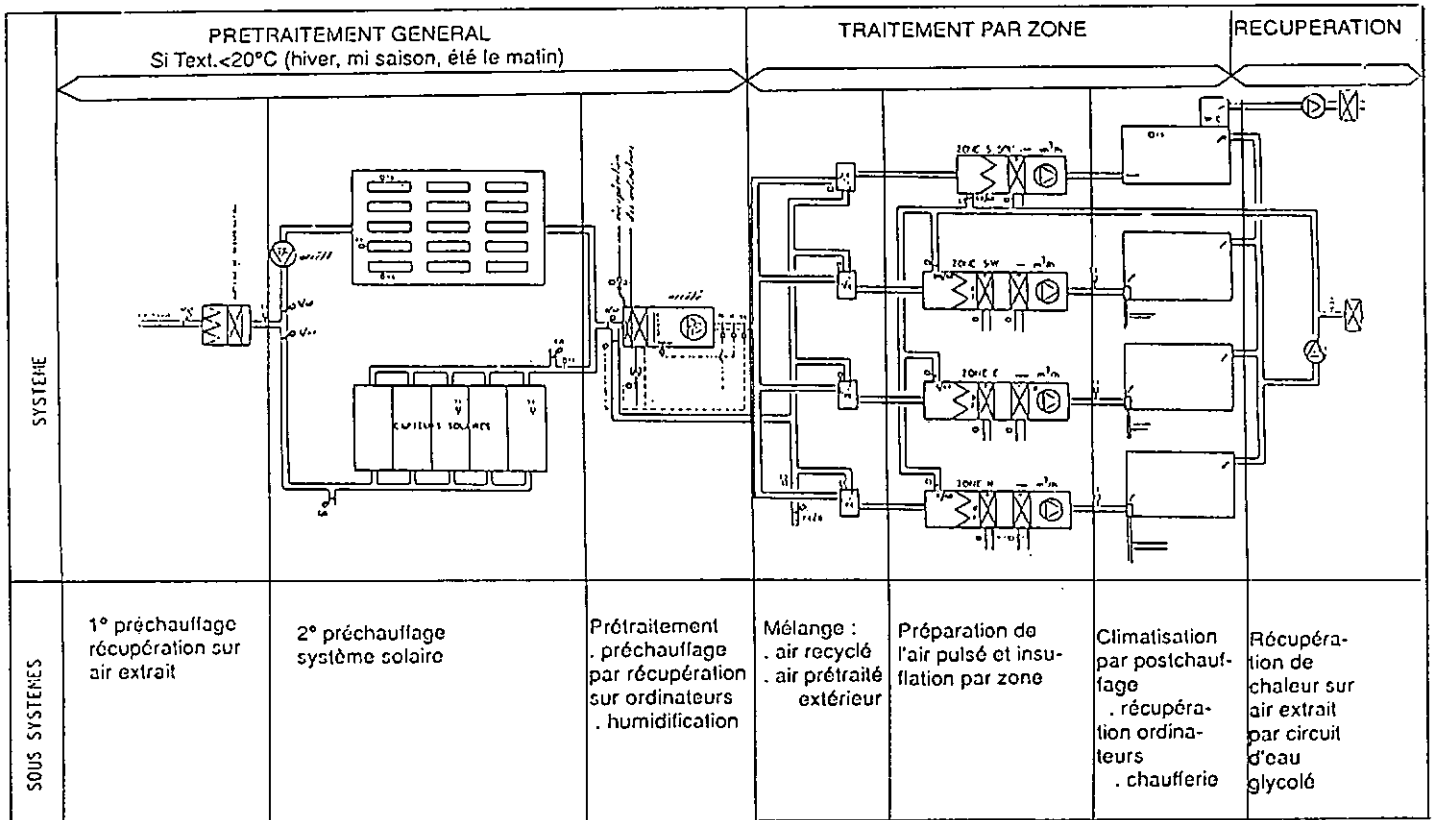


Figure 2-3 principe de climatisation et de chauffage



### 3 HYPOTHESE ET METHODE DE TRAVAIL

L'étude thermique et énergétique d'un bâtiment de la complexité du CAPI nécessite une approche globale pour comprendre le tissu de relations existant entre les différents systèmes, les interactions et leur structure propre.

Par exemple, le système d'utilisation de l'énergie solaire passive est directement lié à la conception de l'enveloppe et au comportement de l'utilisateur, des systèmes de chauffage, de climatisation et de la régulation.

Cette démarche globale est calquée sur l'approche du généraliste, qui fait un "check-up" complet, avant d'adresser son patient aux divers spécialistes.

De ce fait et aussi pour des raisons de budget, nous avons exclu d'entrée une chaîne de mesures et autres installations coûteuses en matériel et en temps.

#### 3.1 Etude du comportement thermique

Le projet de recherche propose une analyse du comportement thermique et énergétique de ce bâtiment sur une année pour l'observer dans toutes les conditions climatiques et d'activités, afin d'en tirer l'indice énergétique et de le comparer à quelques autres exemples, ainsi qu'aux prévisions des calculs.

Les relevés sont prévus chaque semaine pendant une année soit, dans notre cas, du 31 mars 1988 au 31 mars 1989.

#### 3.2 Moyens de comptage existants

L'observation des installations nous a montré que les moyens de comptage existant pour ces installations consistaient en :

Compteurs de chaleur type CALEC permettant de mesurer :

- la chaleur fournie au CAPI
- le froid fourni au CAPI
- la récupération de chaleur sur les ordinateurs.

Compteurs électriques permettant de connaître :

- la consommation totale de jour
- la consommation totale de nuit
- la consommation des ordinateurs et de leur climatisation
- la consommation des ascenseurs
- la consommation des ventilateurs et humidificateurs

Si ces possibilités de comptage ne sont donc pas aussi complètes que l'exigerait une étude détaillée du comportement thermique du bâtiment, elles permettent néanmoins de connaître l'ensemble de l'énergie payante fournie à ce bâtiment.

### 3.3 Déroulement du travail

#### 3.3.1 mesures prévues

- relevés hebdomadaires des compteurs existants par les personnes en charge de l'entretien des installations et ceci pendant une année complète;
- relevés journaliers pendant une ou deux semaines types par le CUEPE;
- mesures ponctuelles de température et de rayonnement pour vérifier les régulations de températures intérieures, ainsi que les hypothèses de corrélation avec les données météorologiques de Cointrin;
- étude de l'occupation des espaces et du degré d'équipement des bureaux;
- questionnaire à tous les usagers sur le confort des locaux.

#### 3.3.2 mesures complémentaires effectuées en cours de travail

- analyse photographique du comportement des usagers quant au maniement des stores;
- mesure des variations de températures intérieures en divers endroits du bâtiment.

#### 3.3.3 interprétation des mesures

- bilans thermiques hebdomadaire, mensuel et annuel, ainsi que leurs comparaison et analyse.
- évaluation du comportement thermique de l'immeuble, des installations, des gains solaires et propositions d'amélioration.

## 4 RESULTAT DES MESURES

### 4.1 Les mesures

D'avril 1988 à mars 1989, des relevés hebdomadaires ont été effectués par les personnes chargées de la gestion des installations sur des fiches préparées par le CUEPE. (annexe 4-1)  
Le tableau 4-2 récapitule les consommations pour chaque période de mesure.

Ces relevés nous ont permis de connaître les consommations de froid, de chaud (figure 4-1) et d'électricité du bâtiment (figure 4-3).

#### 4.1.1 besoins de froid et de chaud

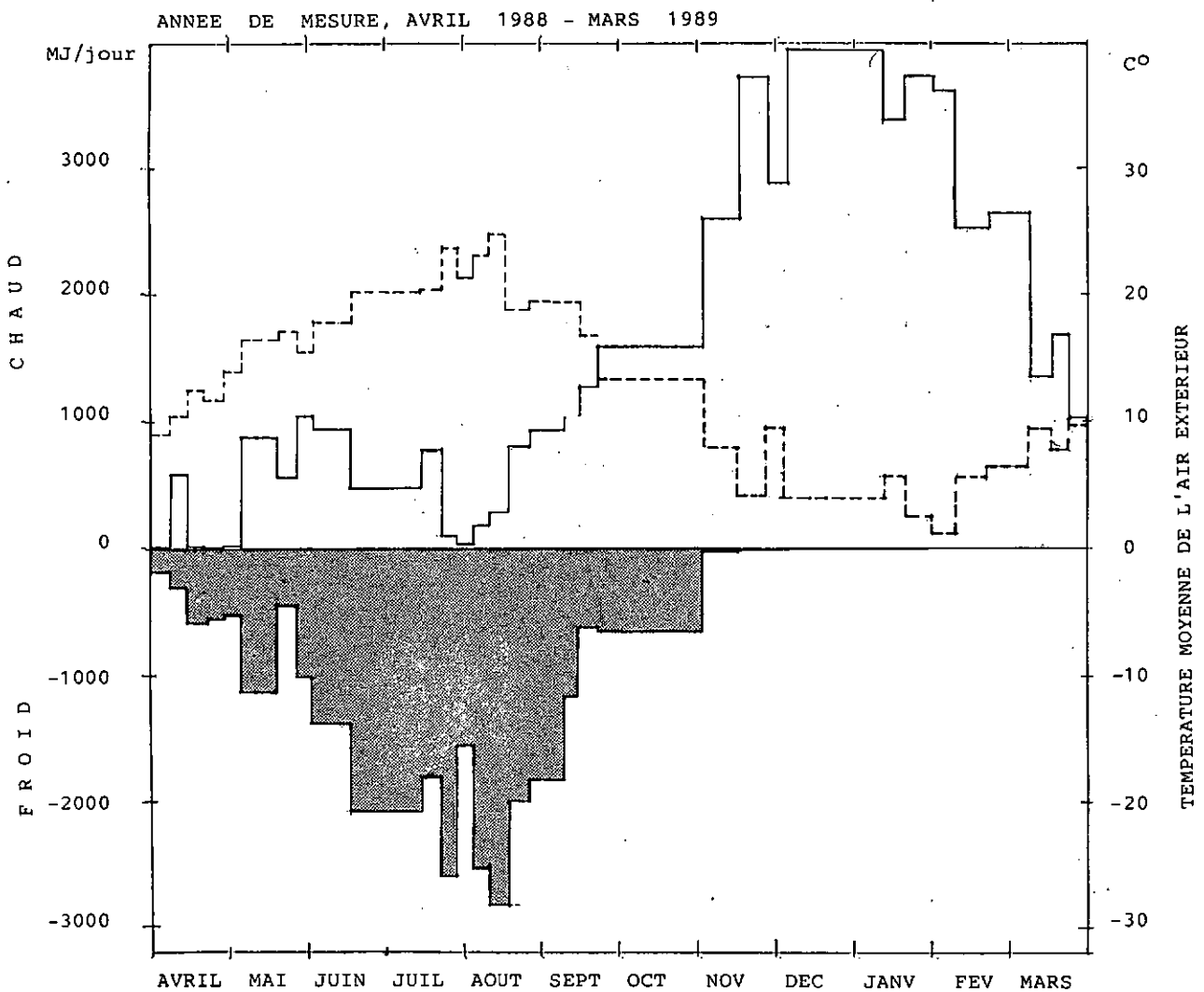


Figure 4-1, consommation de chaud et de froid de l'immeuble CAPI, en MJ par jour, mesurée à l'entrée de l'immeuble par des compteurs CALEC. En parallèle, sont inscrites dans le tableau les températures moyennes de l'air extérieur pour les périodes de mesure

Tableau 4-2, consommation d'énergie mesurée au CAPI, d'avril 1988 à fin mars 1989.  
Moyenne journalière entre deux relevés (en général une semaine).

Semaine	Ti oC	COMPTEURS DE CHALEUR			COMPTEURS ELECTRIQUES				
		Chaud (MJ/j)	Froid (MJ/j)	EDPAC (MJ/j)	E info (MJ/j)	E asc (MJ/j)	E vent (MJ/j)	E tot.nuit (MJ/j)	E tot.jour (MJ/j)
31-7/4 (23)		2	-184	0	3518	74	2033	1503	5501
7-14/4 (23)		588	-304	0	2224	60	1099	904	3377
14-22/4 (23)		7	-593	0	1679	44	706	725	2295
22-28/4 (23)		1	-528	0	1890	56	886	748	2795
28-5/5 (23)		9	-518	0	1793	55	850	760	2707
5-19/5 (23)		894	-1128	0	1892	46	804	785	2627
19-26/5 (23)		569	-450	6	1982	42	916	822	2673
26-2/6 (23)		1030	-988	0	1805	57	820	732	2720
2-17/6 (23)		962	-1412	0	1710	53	906	764	2661
17-14/7 (23)		478	-2078	1	1916	48	1004	857	2826
14-21/7 (23)		778	-1781	0	1929	45	969	808	2795
21-28/7 (23)		92	-2626	0	2019	42	912	823	2812
28-4/8 (23)		13	-1598	0	1912	33	881	793	2605
4-11/8 (23)		149	-2572	0	1921	41	914	818	2739
11-18/8 (23)		277	-2860	0	2067	43	892	827	2874
18-25/8 (23)		786	-1949	0	1926	51	951	787	2848
25-1/9 (23)		876	-1295	0	2003	46	908	856	2786
1-9/9 (23)		917	-1801	1	1878	45	978	773	2786
9-15/9 (23)		1042	-1172	116	1899	47	940	811	2820
15-22/9 (23)		1267	-605	3	1969	54	1075	848	3058
22-3/11 (23)		1580	-633	6	1824	50	1232	858	2887
3-17/11 (23)		2634	-11	22	1797	54	621	874	2931
17-28/11 (23)		3762	-1	99	1726	46	1159	851	2835
28-5/12 (23)		2864	0	38	1780	55	1214	870	3002
5-12/1 (23)		3916	0	0	1952	48	1314	932	3163
12-19/1 (23)		3365	0	0	2037	51	1197	955	3187
19-3/2 (23)		3756	0	0	2021	58	1011	956	3124
3-9/2 (23)		3575	0	0	2192	54	1503	947	3126
9-23/2 (23)		2450	0	1	2136	51	1177	986	3255
23-9/3 (23)		2647	0	0	2408	59	1378	1111	3609
9-16/3 (23)		1371	0	1	1935	39	1006	872	2610
16-23/3 (23)		1677	0	-10070	2326	66	1116	962	3210
23-31/3 (23)		1018	0	0	2013	29	877	838	2539
ANNEE 1988-89		614099	273500	2755	719186	18263	390953	320598	1083650

"chaud" énergie fournie au CAPI sous forme d'eau chaude par la centrale thermique du bâtiment principal des Syndicats patronaux. Les mesures se font au moyen d'un compteur de chaleur type CALEC.

"froid" énergie fournie au CAPI sous forme d'eau froide par la centrale thermique du bâtiment principal des Syndicats patronaux. Les mesures se font au moyen d'un compteur de chaleur type CALEC.

"EDPAC" énergie cédée par le circuit de refroidissement du centre ordinateurs au circuit de chauffage du CAPI ou à l'air de ventilation. Les mesures se font au moyen d'un compteur de chaleur type CALEC.

"E info" énergie électrique mesurée pour le fonctionnement des ordinateurs et leur climatisation. Cette énergie n'est pas prise en compte dans le bilan, on a adims qu'il y a peu d'échanges thermiques entre ce local et le reste du bâtiment. Les mesures se font au moyen des compteurs électriques des SI.

"E asc" énergie électrique utilisée par les ascenseurs. Compteur SI.

"E vent" énergie électrique utilisée pour les ventilateurs et les humidificateurs. Compteur SI.

"E tot" énergie électrique totale utilisée dans le bâtiment = E info + E asc + E vent + E équip.(EC+lumière+machines de bureau) Compteur SI nuit, compteur SI jour.

La climatisation sollicite très tôt la consommation d'eau froide. Ceci dès la première semaine du mois d'avril :

- température extérieure moyenne 8.6 °C;
- température maximum absolue de 14.2 °C le 7 avril;
- température minimum absolue de -1.9 le 2 avril.

La consommation d'eau chaude pour le chauffage est continue sur toute l'année, même en été avec de mai à octobre une simultanéité de chauffage et de climatisation :

on réchauffe l'air que l'on vient de refroidir, effet connu (1)(2) et inhérent au système de climatisation installé, aggravé par la complexité du système de régulation.

#### 4.1.2 consommation d'électricité

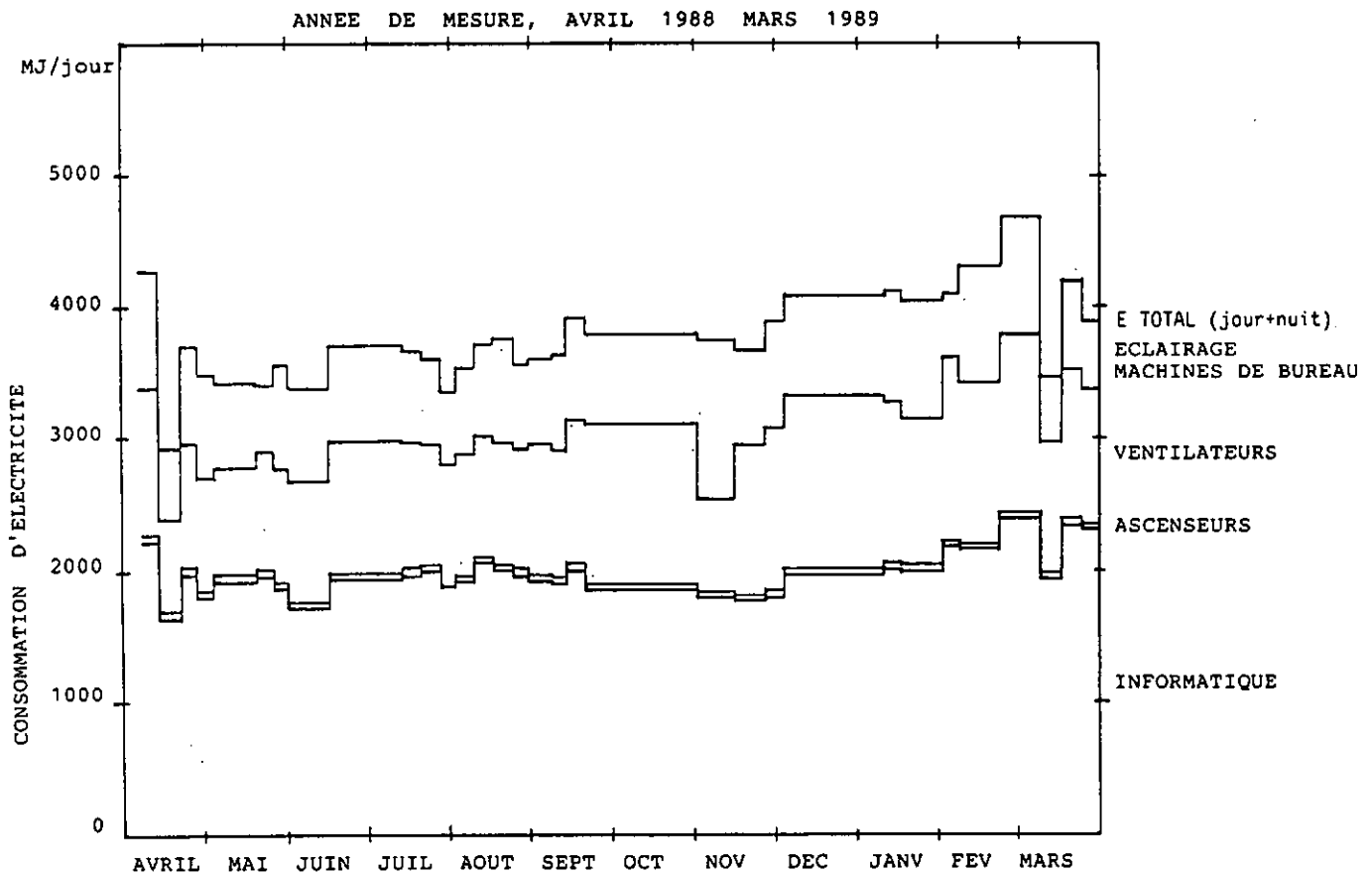


Figure 4-3, consommation d'électricité journalière cumulée de l'immeuble CAPI (MJ/jour) pour l'informatique, les ascenseurs, la ventilation, l'éclairage et les machines de bureaux.

"E équipements" comprend l'éclairage, les machines de bureaux, l'eau chaude et se calcule selon:

$$E_{\text{équip}} = E_{\text{tot}} - E_{\text{vent}} - E_{\text{asc}} - E_{\text{info}}$$

La consommation d'électricité est relativement stable durant l'année. La répartition de la consommation est la suivante :

- le centre de calcul et sa climatisation représente un peu plus de la moitié de la consommation d'électricité (51.1 %);
- les ventilateurs plus du quart (27.8 %);
- l'éclairage, les machines de bureaux (ordinateurs personnels, imprimantes, etc), et l'eau chaude sanitaire environ un cinquième (19.6 %);
- les ascenseurs moins de 2 %.

## 4.2 Calcul de l'indice énergétique

L'indice énergétique E donne la consommation d'énergie annuelle ramenée à l'unité de surface brute chauffée (MJ/m<sup>2</sup>an) et permet de comparer des bâtiments de même affectation.

### 4.2.1 méthode suivie pour le calcul de cet indice dans le cas du CAPI.

A la consommation de froid et de chaud mesurée, il faut ajouter les pertes de production de ce chaud et de ce froid.

Pour la production du chaud un rendement de 80 % à été admis.

Pour la production de froid, deux hypothèses ont été examinées :

- production du froid à partir du gaz (situation réelle, mais exceptionnelle pour des bâtiments de la dimension du CAPI)
- production du froid à partir de l'électricité.

Selon la norme SIA 180/4, le calcul de la surface brute chauffée prend en compte la moitié des sous-sols (archives, compactus) en plus de la surface des étages.

La saison de chauffage mesurée 1988-1989 est particulièrement clémente et une réévaluation d'environ 10 % serait nécessaire pour réajuster l'indice énergétique de chauffage à l'année moyenne.

Toutefois, pour la comparaison de l'immeuble CAPI à d'autres bâtiments administratifs, c'est l'énergie effectivement mesurée qui figure dans cette étude.

Les tableaux 4-4, 4-5 et 4-6 donnent les indices énergétiques du bâtiment CAPI pour l'année de mesures avril 1988-mars 1989 (surface de référence 2587 m<sup>2</sup>).

**Tableau 4-4, demande d'énergie nette mesurée**

Indice énergétique du besoin de chauffage	237 (MJ/m <sup>2</sup> .an)
Indice énergétique du besoin de froid	106 (MJ/m <sup>2</sup> .an)
Indice énergétique électrique	543 (MJ/m <sup>2</sup> .an)

**Tableau 4-5, indices énergétiques électriques mesurés**

Indice énergétique de l'informatique	278 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	51 %
Indice énergétique des ascenseurs	7 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	1 %
Indice énergétique de la ventilation	151 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	28 %
Indice énergétique du reste	107 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	20 %
Indice électrique total	543 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	100 %
Indice électrique total sans info.	265 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	49 %

**Tableau 4-6, indices énergétiques de chauffage et de climatisation besoins bruts calculés**

Indice énergétique de chauffage (rendement 80%)	296 (MJ/m <sup>2</sup> .an)
Indice énergétique de froid (prod. élec, cop 1.5, rend. 95 %)	74 (MJ/m <sup>2</sup> .an)
Indice énergétique de froid (prod. gaz, cop 1.5, rend. 40 %)	177 (MJ/m <sup>2</sup> .an)

### 4.3 Comparaison des indices énergétiques

La comparaison de l'indice énergétique permet de situer globalement les performances du bâtiment et de préciser les limites et le potentiel d'amélioration.

Les exemples choisis pour la comparaison sont d'une part des bâtiments de production courante et d'autre part des bâtiments à basse consommation d'énergie, si possible de même affectation et contemporain à la construction du CAPI.

Il s'agit toutefois de rester très prudent car le nombre limité de références, la taille du bâtiment (facteur de forme, distance aux fenêtres), la densité des équipements, le mode de calcul de certains paramètres (surface de référence) peuvent altérer la valeur de ces comparaisons.

Comparer, en outre, l'indice énergétique avec les prévisions du rapport "d'optimisation énergétique" du GRES, n'est pas possible : les prévisions ne sont que partielles, les besoins d'énergie de climatisation et les gains internes ne sont pas évalués. La comparaison ne peut se faire que sur des parties du bilan comme par exemple les gains solaires, les déperditions par l'enveloppe.

#### 4.3.1 bâtiments administratifs de la production courante

Une étude effectuée par B.Wick et al., pour le compte du GESE (3) nous permet de disposer d'un échantillonnage de bâtiments du tertiaire et, entre autre, d'une estimation du CUEPE pour des bâtiments construits entre 1975 et 1985, dont nous ne retiendrons que deux catégories, les bureaux privés et les banques.(4)

Les banques comprennent en général un centre informatique ce qui n'est pas le cas de la majorité des bureaux privés.

Pour comparer le CAPI aux bureaux privés, la consommation électrique engendrée par le centre informatique est enlevée.

#### 4.3.2 immeuble de bureaux à basse consommation d'énergie

L'immeuble administratif de Sulzer à Winterthur est souvent cité comme un exemple réussi de bonne gestion d'énergie (5)(6). Construit la même année que le CAPI, il présente une surface de bureaux identique et un rapport fenêtres sur façades comparable.

L'immeuble n'est pas climatisé, mais ventilé naturellement et le confort estival est assuré par une construction lourde et une ventilation nocturne.

Des panneaux solaires participent au chauffage et à la préparation de l'eau chaude sanitaire.

Indice énergétique de chauffage est de 159 MJ/m<sup>2</sup>an  
Indice énergétique d'électricité est de 135 MJ/m<sup>2</sup>an

Cette comparaison est valable sous réserve d'une étude du confort thermique et lumineux effectivement offert par ce bâtiment Sulzer.

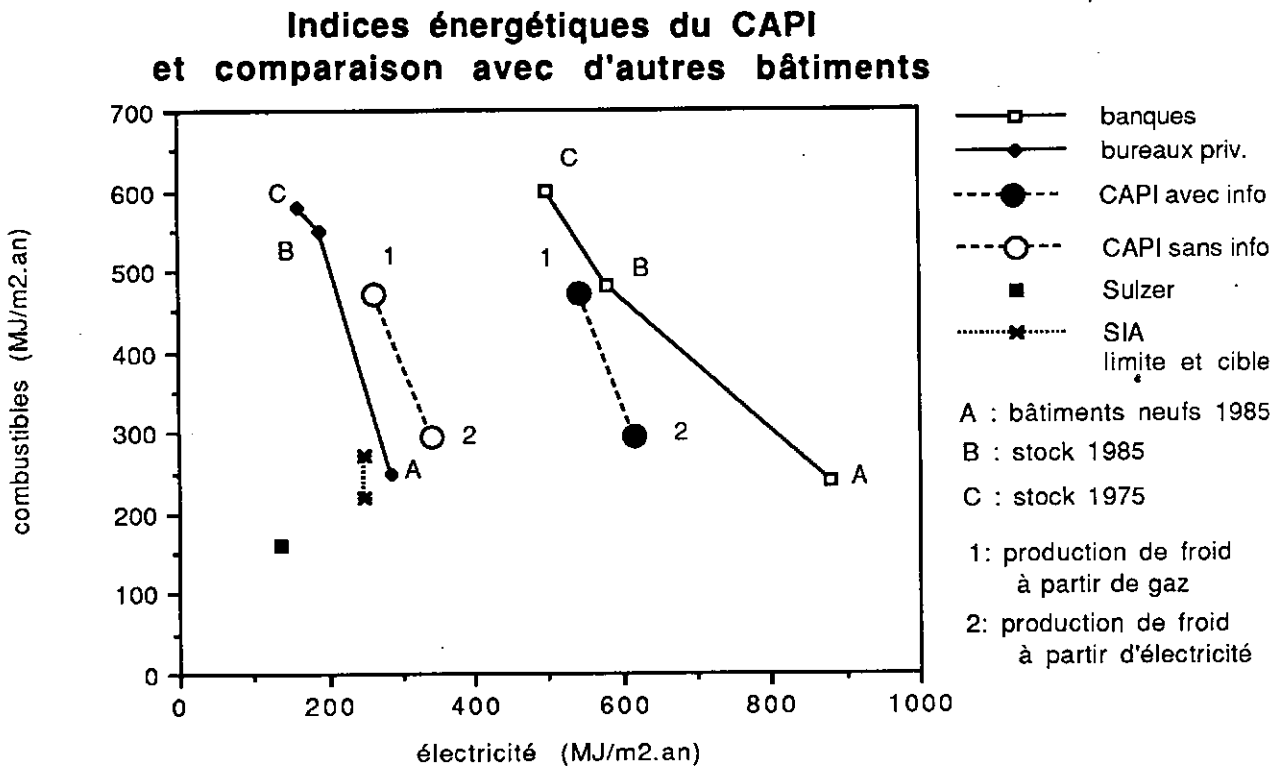
#### 4.3.3 les valeurs limites et cibles de la SIA pour les bâtiments neufs

Pour des bâtiments administratifs climatisés, la recommandation 380/1 de la SIA donne comme valeur

	limite	cible
Demande d'énergie de chauffage	270 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	220 (MJ/m <sup>2</sup> .an)
Indice de dépense d'énergie élec.	250 (MJ/m <sup>2</sup> .an)	250 (MJ/m <sup>2</sup> .an)

#### 4.3.4 comparaison

Figure 4-7, indice énergétique du CAPI et comparaison avec d'autres bâtiments. Cette figure est adaptée de l'étude en référence (7). La présentation combinée des combustibles et de l'électricité permet une vision globale du comportement énergétique du bâtiment.



Comparés à ceux des bureaux privés, les indices énergétiques du CAPI (après soustraction de l'électricité de l'informatique) sont plus élevés en combustible et en électricité bien que le taux d'occupation du CAPI soit plus faible (42 m<sup>2</sup> par employé).

Comparé aux banques construites entre 1975 et 1985 (□ A) le CAPI, y compris l'électricité nécessaire à son informatique, consomme moins d'électricité et plus de combustible.

La consommation d'énergie du CAPI est donc semblable si ce n'est supérieure aux immeubles de bureaux courants construits à la même époque mais représente plus du double de celle de l'immeuble Sulzer.

Mieux comprendre les raisons de ce comportement thermique et, éventuellement, l'améliorer nécessitent une analyse du bilan thermique et du fonctionnement des installations et de la régulation.

## 5 CALCUL DU BILAN THERMIQUE

Le relevé des compteurs de chaleur type CALEC et électriques des Services industriels, a permis de mesurer l'ensemble des énergies payantes fournies à cet immeuble (voir chapitre 4) sous forme d'électricité, d'eau froide ou d'eau chaude.

A partir de ces énergies mesurées, nous avons établi des bilans thermiques pour chaque période de mesures, puis pour chaque mois et enfin pour l'année (tableau 5-1).

Pour dimensionner l'ensemble des flux thermiques, positifs (énergie fournie au bâtiment) et négatifs (énergie éliminée), qui interviennent dans le fonctionnement du bâtiment, nous avons complété les données mesurées en ajustant des données météorologiques de Cointrin à la situation de l'immeuble CAPI et en calculant sur la base d'hypothèses simples les déperditions thermiques, les gains internes et solaires.

### 5.1 Description des mesures et des hypothèses de calcul

#### 5.1.1 températures, hygrométrie, ensoleillement, données météorologiques

- "T-int" La température de l'air a été admise constante à 23 °C sur la base de mesures ponctuelles (septembre 88). Des mesures ultérieures, sur une période d'une semaine, confirment que les variations de températures sont faibles (figure 5-2).
- "T-moy" température moyenne de l'air pour la période calculée. Cette température est obtenue à partir des températures moyennes journalières de la station météorologique de Cointrin auxquelles on ajoute la différence moyenne entre Cointrin et les zones urbaines à forte densité (2 °C).
- "T-moy/jr" température moyenne entre 7h et 19h (la ventilation s'arrête la nuit) soit "T-moy/24h + 1 °C". Pour simplifier nous avons pris 1 °C comme différence de température moyenne : sur 24 heures ou de 7 à 19 heures. En fait cette différence est légèrement plus élevée l'été (1,5 °C), et plus faible l'hiver (0.5 °C). (figure 5-3)
- "DJ" somme des différences de températures journalières entre la température intérieure (23 °C) et la température extérieure sur la période du bilan.
- "T-sol" Pour les déperditions vers le sol, nous avons calculé la température du sol, en prenant la température moyenne annuelle + ou - un facteur correcteur. (tableau 5-4)
- "H-sol" L'ensoleillement de Cointrin est utilisé dans les calculs; des comparaisons nous ont permis de vérifier que pour des périodes d'une semaine l'ensoleillement en divers points du canton est très uniforme. (figure 5-5)

Tableau 5-1, bilans thermiques de l'immeuble CAPI par période de mesure, par mois et pour l'année 1988-1989.

M E T E O R O L O G I E							INFO	DEPERDITIONS				RECUPERATION		G A I N S I N T E R N E S			S O L A R		APPORTS DIRECTS		BILAN
Semaine	Ti oC	Jours	Jours-ouv	T-moy oC	T-moy/jr oC	DJ (a) oCjour	Info MJ/jour	Dep-env MJ/jour	Dep-ssol MJ/jour	Dep-air MJ/jour	Dep-vap MJ/jour	Rec-air MJ/jour	Rec-info MJ/jour	Aprt-vent MJ/jour	Aprt-equip MJ/jour	Pers MJ/jour	Sol-pas MJ/jour	Sol-act MJ/jour	Chaud MJ/jour	Froid MJ/jour	Default-bil MJ/jour
31-07/4 (23)		7	6	8.60	9.60	14.40	3518	-1728	-1139	-1920	-548	768	0	1118	1453	157	358	179	2	-184	-1484
07-14/4 (23)		7	6	10.70	11.70	12.30	2224	-1476	-1139	-1618	-86	647	0	604	959	157	611	195	588	-304	-862
14-22/4 (23)		8	7	13.70	14.70	9.30	1679	-1116	-1139	-1207	0	483	0	389	634	160	927	293	7	-593	-1164
22-28/4 (23)		6	5	11.80	12.80	11.20	1890	-1344	-1139	-1431	0	572	0	487	767	154	563	213	1	-528	-1684
28-05/5 (23)		7	6	13.90	14.90	9.10	1793	-1092	-1034	-1159	0	464	0	467	824	157	732	241	9	-518	-911
05-19/5 (23)		14	12	16.50	17.50	6.50	1892	-780	-1034	-787	0	315	0	442	715	157	555	189	894	-1128	-463
19-26/5 (23)		7	6	17.00	18.00	6.00	1982	-720	-1034	-713	0	285	6	504	597	156	649	289	569	-450	138
26-02/6 (23)		7	6	15.20	16.20	7.80	1805	-936	-1034	-977	0	391	0	451	826	158	603	188	1030	-988	-289
02-17/6 (23)		15	13	17.90	18.90	5.10	1710	-612	-929	-592	0	237	0	498	809	158	803	252	962	-1412	175
17-14/7 (23)		27	23	20.10	21.10	2.90	1916	-348	-877	-271	0	0	1	552	763	156	712	0	478	-2078	-912
14-21/7 (23)		7	6	20.30	21.30	2.70	1929	-324	-824	-244	0	0	0	533	706	157	813	0	778	-1781	-185
21-28/7 (23)		7	6	23.60	24.60	- .60	2019	72	-824	229	0	0	0	502	704	157	827	0	92	-2626	-868
28-04/8 (23)		7	6	21.20	22.20	1.80	1912	-216	-798	-114	0	0	0	484	605	156	613	0	13	-1598	-855
04-11/8 (23)		7	6	23.10	24.10	- .10	1921	12	-772	157	0	0	0	503	722	157	909	0	149	-2572	-735
11-18/8 (23)		7	6	24.60	25.60	-1.60	2067	192	-772	372	0	0	0	490	743	157	787	0	277	-2860	-613
18-25/8 (23)		7	6	18.60	19.60	4.40	1926	-528	-772	-489	0	196	0	523	758	158	729	225	786	-1949	-363
25-01/9 (23)		7	6	19.00	20.00	4.00	2003	-480	-772	-427	0	0	0	499	732	156	762	0	876	-1295	51
01-09/9 (23)		8	7	18.97	19.97	4.03	1878	-484	-824	-444	0	0	1	538	702	161	936	0	917	-1801	-298
09-15/9 (23)		6	5	16.75	17.75	6.25	1899	-750	-824	-731	0	292	116	517	793	153	634	252	1042	-1172	322
15-22/9 (23)		7	6	15.20	16.20	7.80	1969	-936	-824	-974	0	390	3	591	862	157	794	284	1267	-605	1008
22-3/11 (23)		42	36	13.81	14.81	9.19	1824	-1103	-982	-1174	0	469	6	678	689	157	486	165	1580	-633	340
3-17/11 (23)		14	12	8.36	9.36	14.64	1797	-1757	-982	-1948	-386	779	22	341	1386	157	203	77	2634	-11	517
17-28/11 (23)		11	9	3.93	4.93	19.07	1726	-2288	-982	-2464	-1030	986	99	638	800	150	347	110	3762	-1	125
28-5/12 (23)		7	6	9.25	10.25	13.75	1780	-1650	-1071	-1826	-253	730	38	668	879	157	164	42	2864	0	742
05-12/1 (23)		38	33	4.18	5.18	18.82	1952	-2258	-1124	-2586	-909	1034	0	723	828	159	226	81	3916	0	91
12-19/1 (23)		7	6	5.07	6.07	17.93	2037	-2152	-1166	-2425	-817	970	0	658	909	157	284	126	3365	0	-89
19-03/2 (23)		15	13	2.50	3.50	20.50	2021	-2460	-1166	-2822	-1115	1129	0	556	1048	159	257	91	3756	0	-566
03-09/2 (23)		6	5	1.90	2.90	21.10	2192	-2532	-1197	-2802	-998	1121	0	827	378	153	313	80	3575	0	-1083
09-23/2 (23)		14	12	6.70	7.70	16.30	2136	-1956	-1197	-2197	-738	879	1	647	928	157	406	113	2450	0	-507
23-09/3 (23)		14	12	7.50	8.50	15.50	2408	-1860	-1192	-2074	-843	830	0	758	934	157	603	130	2647	0	90
09-16/3 (23)		7	6	10.20	11.20	12.80	1935	-1536	-1192	-1684	-641	674	1	553	541	156	574	127	1371	0	-1056
16-23/3 (23)		7	6	8.50	9.50	14.50	2326	-1740	-1192	-1934	-787	773	1	614	730	157	555	125	1677	0	-1020
23-31/3 (23)		8	7	13.10	14.10	9.90	2013	-1188	-1192	-1302	-481	521	0	482	487	160	868	210	1018	0	-416

M E T E O R O L O G I E							INFO	DEPERDITIONS				RECUPERATIONS		G A I N S I N T E R N E S			S O L A R		APPORTS DIRECTS		BILAN
Mois	Ti oC	Jours	Jours-ouv	T-moy oC	T-moy/jr oC	DJ (b) oCjour	Info MJ	Dep-env MJ	Dep-ssol MJ	Dep-air MJ	Dep-vap MJ	Rec-Air MJ	Rec-Info MJ	Aprt-vent MJ	Aprt-equip MJ	Pers MJ	Sol-Pas MJ	Sol-Act MJ	Chaud MJ	Froid MJ	Default-bil MJ
AVRIL (23)		30	25	11.40	12.40	348.00	68554	-41760	-34178	-44266	-4442	18130	3	19024	28203	4712	19043	6721	4204	-12361	-36966
MAI (23)		31	27	15.90	16.90	220.10	58353	-26412	-27925	-27511	0	10679	48	14314	22436	4865	18993	6807	21683	-26476	-8498
JUIN (23)		30	26	18.90	19.90	123.00	54175	-14760	-24161	-13463	0	4335	14	15553	23708	4722	22511	4159	22701	-50172	-4852
JULIET (23)		31	26	20.90	21.90	65.10	60197	-7812	-21431	-4777	0	0	12	16426	22367	4855	23291	0	12814	-64737	-18992
AOUT (23)		31	27	21.50	22.50	46.50	61068	-5580	-20837	-2255	0	1370	3	15548	22369	4864	23993	1576	13788	-65820	-10982
SEPTEMBRE (23)		30	26	17.00	18.00	180.00	56963	-21600	-21431	-21715	0	8235	769	17515	22717	4727	21587	4823	36057	-32191	19494
OCTOBRE (23)		31	26	13.60	14.60	291.40	56535	-34968	-24161	-36482	0	14553	197	21012	21357	4871	15062	5129	48988	-19620	15940
NOVEMBRE (23)		30	26	6.70	7.70	489.00	52573	-58680	-28256	-66449	-17037	24324	1484	15013	31624	4569	8359	2840	87689	-2070	3411
DECEMBRE (23)		31	27	4.90	5.90	561.10	59663	-67332	-30051	-77122	-24901	30542	198	22127	25931	4922	6705	2310	116135	-2	9460
JANVIER (23)		31	26	3.50	4.50	604.50	61963	-72540	-30303	-80346	-30012	32754	6	19957	28889	4914	7793	2952	115649	0	-285
FEVRIER (23)		28	24	5.10	6.10	501.20	61781	-60144	-28728	-67751	-24107	26828	11	19679	23326	4428	11462	3014	81006	0	-10977
MARS (23)		31	27	10.00	11.00	403.00	67428	-48360	-32177	-54121	-21363	21693	15	18795	21149	4875	20235	4612	53159	-2	-11491

M E T E O R O L O G I E							INFO	DEPERDITIONS				RECUPERATIONS		G A I N S I N T E R N E S			S O L A R		APPORTS DIRECTS		BILAN
	Ti	Jours	Jours-ouv	T-moy oC	T-moy/jr oC	DJ (b) oCjour	Info MJ	Dep-env MJ	Dep-ssol MJ	Dep-air MJ	Dep-vap MJ	Rec-Air MJ	Rec-Info MJ	Aprt-vent MJ	Aprt-equip MJ	Pers MJ	Sol-Pas MJ	Sol-Act MJ	Chaud MJ	Froid MJ	Default-bil MJ
ANNEE 88/89		365	313	10.50	11.50	3832.90	719253	-459948	-323636	-496259	-121862	193445	2760	214963	294075	57323	199035	44943	613874	-273452	-54740

Les valeurs mensuelles et annuelles sont obtenues en additionnant les valeurs moyennes journalières sur la période désirée.

Abréviation	Description	Unités	Période	Mode de calcul
T <sub>i</sub>	température intérieure	°C	H/M/A <sup>(1)</sup>	23°C constant (mesures ponctuelles)
Jours	période entre deux relevés	jours	H/M/A	date/heure de relevé B - date/heure du relevé A
Jours-ouv	nb de jours climatisés	Jours	H/M/A	nb de jours ouvrables de la préiode mesurée
T-moy	température moyenne de la période	°C	H/M/A	mesures journalières de Cointrin + 2°C
T-moy/Jr	température moyenne entre 7 et 19 heures	°C	H/M/A	"T-moy" + 1°C
DJ	somme des différences de température intérieure/extérieure par jour	°C·jours	H/M/A	"T <sub>i</sub> "(23°C) - "T-moy" x "Jours"
Info	énergie électrique du centre de calcul	MJ/(jour) <sup>(2)</sup>	H/M/A	mesuré. Compteur SI
Dep.-env.	pertes par transmission vers l'extérieur	MJ/(jour)	H/M/A	déperditions thermiques pour un jour et 1°C ("E/DJ") <sup>(3)</sup> x "DJ"/"Jours"
Dep.-ssol	pertes par transmission vers le sol	MJ/(jour)	H/M/A	déperditions thermiques pour un jour et 1°C ("E/DJ") <sup>(4)</sup> x ("T <sub>i</sub> " - "T-sol") x 1 jour
Dep.-air	pertes par renouvellement d'air	MJ/(jour)	H/M/A	chaleur spécifique x volume/jour x DJ/Jours
Dep.-vap	pertes par vaporisation d'eau	MJ/(jour)	H/M/A	(18,35 g/m <sup>3</sup> x 45%) - (vap. eau dans l'air ext.) x m <sup>3</sup> d'air x chaleur latente d'évaporation/"Jours". Si T <sub>e</sub> < 12°C
Rec.-air	récupération sur le renouvellement d'air	MJ/(jour)	H/M/A	"Dep-air" x 0,4 (rendement du syst.)
Rec.-info	récupération sur la climatisation du centre de calcul	MJ/(jour)	H/M/A	mesuré. Compteur de type chaleur CALEC
Aprt-vent	pertes de charges des ventilateurs	MJ/(jour)	H/M/A	electricité des ventilateurs (mesure) x 0,55/Jours
Aprt-équi	apports de appareils de bureau, lumière, eau chaude	MJ/(jour)	H/M/A	( "E-tot" - "E-info" - "E-vent" ) / Jours
Pers.	apport des personnes	MJ/(jour)	H/M/A	120 W/personne x 53 personnes x présence/Jours
Sol-pas.	apports solaires passifs	MJ/(jour)	H/M/A	Σ rayonnement sur le plan des vitrages x coef. de transmission x S <sub>v</sub> <sup>(5)</sup> x coef. d'ombrage et stores/Jours
Sol-act.	apports solaires actifs	MJ/(jour)	H/M/A	rayonnement sur le plan des capteurs x 0,20 (rendement calculé/Jour pour T-moy/Jr < 20°C
Chaud	énergie amenée au CAPI sous forme d'eau chaude	MJ/(jour)	H/M/A	mesuré. Compteur de chaleur type CALEC
Froid	énergie amenée au CAPI sous forme d'eau froide	MJ/(jour)	H/M/A	mesuré. Compteur de chaleur type CALEC
Defaut-bil	defaut de bilan	MJ/(jour)	H/M/A	somme des flux d'énergie non compris l'informatique

(1) H = hebdomadaire, M = mensuelle, A = annuelle

(2) /(jours)seulement pour le tableau hebdomadaire

(3) voir tableau 5-6

(4) voir tableau 5-6

(5) S<sub>v</sub> = surfaces des vitrages(6) teneur en vapeur d'eau, au point de rosée, d'un m<sup>3</sup> d'air à 23 °C

Figure 5-2, mesure des températures intérieures en différents points de l'immeuble CAPI à l'aide de mesureurs HAMSTER

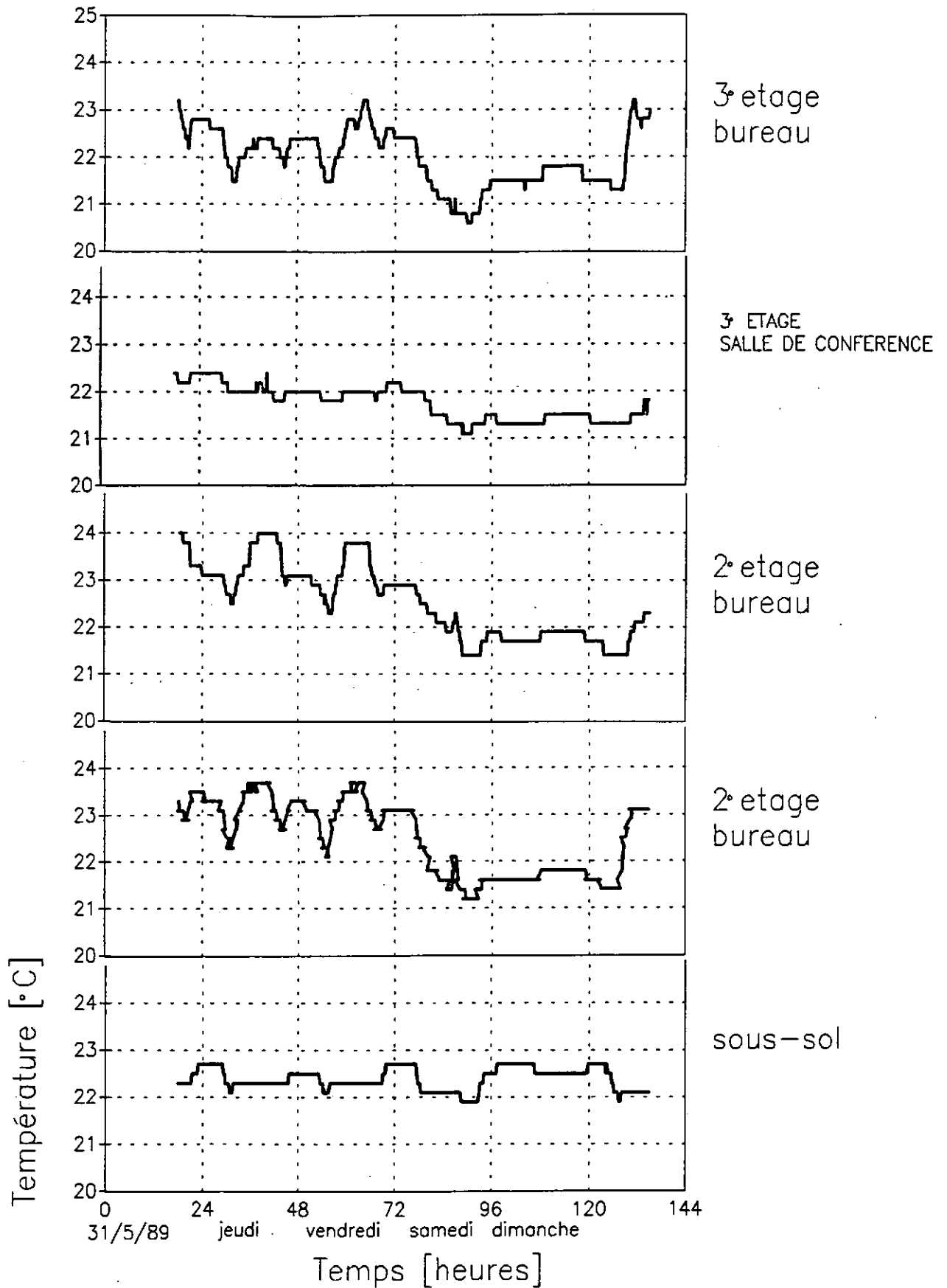


Figure 5-3, Cointrin 1988, comparaison des températures moyennes: sur 24 h et de 7h à 19h.

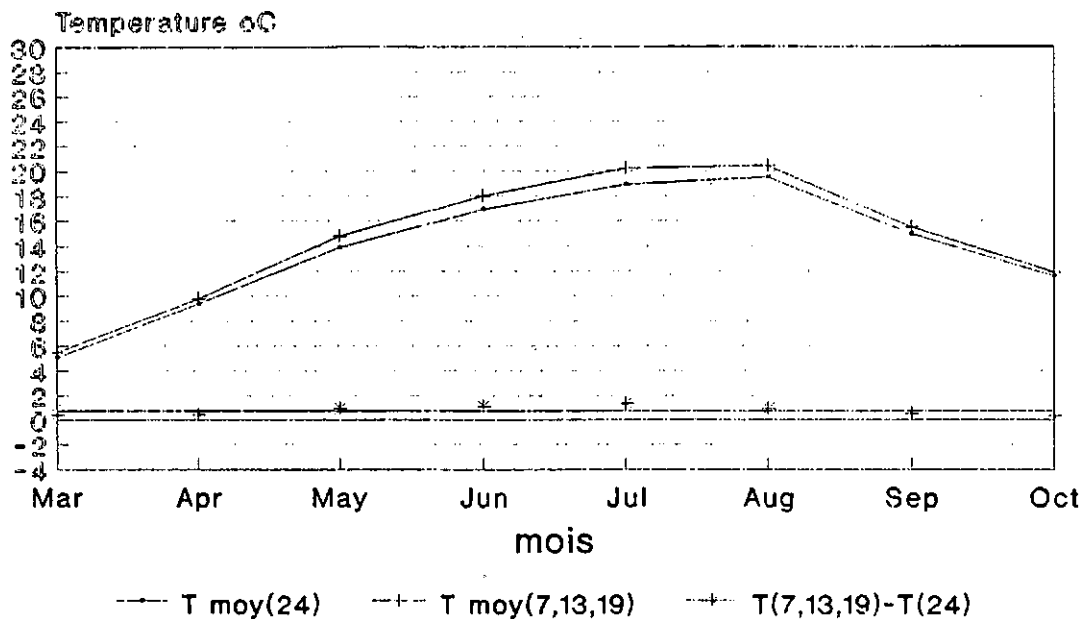
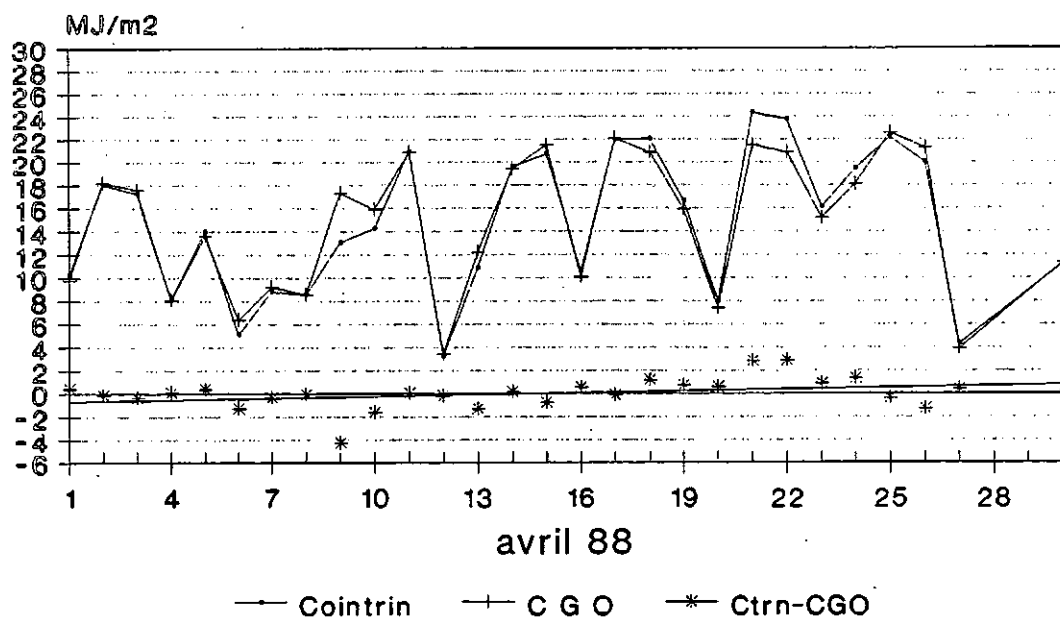


Tableau 5-4, corrections à apporter à la température moyenne annuelle de l'air extérieur pour obtenir la température moyenne mensuelle du sol (adapté d'après le logiciel LESOSAI (1)).

Mois	Correction	Mois	Correction
août	+2,25	février	-1,8
septembre	+1,75	mars	-1,75
octobre	+0,75	avril	-1,25
novembre	-0,25	mai	-0,25
décembre	-1,0	juin	+0,75
janvier	-1,50	juillet	+1,75

Figure 5-5, comparaison du rayonnement global horizontal à Cointrin et à Onex (CGO).



### 5.1.2 le local informatique

"E info" énergie électrique mesurée pour le fonctionnement des ordinateurs et leur climatisation.  
 Cette énergie n'est pas prise en compte dans le bilan, on a admis qu'il y a peu d'échanges thermiques entre ce local et le reste du bâtiment.  
 La part importante que représente cette énergie dans le bilan nécessiterait une étude complémentaire pour évaluer les économies dans ce secteur.  
 Les mesures se font au moyen des compteurs SI.

### 5.1.3 les déperditions de l'enveloppe par transmission et renouvellement d'air (figure 5-7)

Sur la base des plans d'exécutions du CAPI, nous avons calculé les surfaces et coefficients de transmission thermique,  $k$ , des divers composants de l'enveloppe (vitrages, cadres, murs, toiture etc.). Nous en avons déduit les déperditions thermiques pour un degré de différence de température entre intérieur et extérieur et ceci pendant un jour ou pour un DJ. (tableau 5-6)

Nous avons calculé séparément la partie contre terre et la partie au-dessus du sol, la température de l'air extérieur n'étant pas la même que celle du sol.

La déperdition thermique due au renouvellement d'air est calculée sur la base du volume de renouvellement d'air donné par l'installation et la régulation.

A partir de cette analyse, les déperditions thermiques de l'enveloppe, pour le bilan, se calculent comme suit :

"Dep-env" déperditions thermiques de l'enveloppe par transmission vers l'air extérieur. En fonction des composants de l'enveloppe et de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur pendant la période calculée.

"Dep-ssol" déperdition thermique de l'enveloppe du sous-sol par transmission vers le sol. En fonction des composants de la partie de l'enveloppe concernée et de la différence de température entre le sol et le bâtiment.  
 Calcul des déperditions thermiques du sous-sol:  
 sur la base de diverses méthodes simplifiées (1)(2), nous avons admis qu'il n'y avait pas de déperditions à travers la dalle du 2e sous-sol, la température du sol étant considérée comme stabilisée sous cette dalle.  
 Pour les déperditions à travers les murs, nous avons calculé la température du sol, en prenant la température moyenne annuelle + ou - un facteur correcteur (tableau 5-4).  
 Les pertes qui résultent de ce calcul sont importantes et les simplifications admises sont à l'origine de fortes incertitudes.

"Dep-air" énergie nécessaire pour réchauffer l'air prélevé à l'extérieur pour maintenir la qualité de l'air intérieur.  
 Fonction du renouvellement de un volume par heure (8700 m<sup>3</sup>/h) et de la différence de température intérieure - "T-moy/jour".



"Dep-vap" énergie nécessaire à la vaporisation d'eau pour maintenir une humidité relative de 45 % à l'intérieur.  
 La teneur en eau de l'air extérieur est calculée d'après les données de la station météorologique de Cointrin.  
 La vaporisation n'est enclenchée que lorsque la température extérieure est inférieure à 12 °C.

#### 5.1.4 les récupérations d'énergie (figure 5-8)

"Rec-air" récupération d'énergie par échangeur à eau glycolée entre l'air vicié éliminé et l'air neuf qui est ainsi préchauffé.  
 Une efficacité globale de cet échangeur de 40 % a été admise sur la base des données techniques de l'installation et de la littérature existante (3).

"EDPAC" énergie cédée par le circuit de refroidissement du centre ordinateurs au circuit de chauffage du CAPI ou à l'air de ventilation.  
 Les mesures se font au moyen d'un compteur de chaleur type CALEC.

#### 5.1.5 les gains internes (figure 5-8)

"Aprt-vent" pertes de charge de la ventilation mécanique.  
 Le rendement mécanique des ventilateurs est d'environ 70 %  
 L'énergie est transmise dans le bâtiment sauf la partie éliminée avec l'air vicié.  
 En fin de compte 55 % de l'énergie de ventilation est transmise sous forme de chaleur dans le bâtiment.

"Aprt-pers" Sur la base des 53 employés recensés, présents pendant huit heures les jours ouvrables.

#### 5.1.6 les apports solaires (figure 5-9)

##### 5.1.6.1 les apports solaires passifs "Sol-pas"

Les façades, et principalement la façade sud, ont été réalisées de manière à favoriser les gains solaires passifs:

- disposition des fenêtres plus dense sur le haut de la façade sud en fonction de l'étude des ombres portées
- stores à lamelles extérieures pour protéger de l'éblouissement tout en permettant au soleil de pénétrer par réflexion, un moteur permet d'actionner les stores et d'en optimiser l'utilisation au moyen d'une régulation centrale
- l'installation de climatisation est prévue pour redistribuer les gains solaires dans les zones nord de l'immeuble
- un triple vitrage permet d'améliorer le bilan sur l'année

Le rayonnement solaire qui pénètre dans l'immeuble est un appoint de chaleur utile, ou alors il est éliminé par la climatisation.  
 Les fenêtres de cet immeuble ne sont pas ouvrantes.

La température restant stable dans les pièces sud, même les jours très ensoleillés (figure 5-2), et les périodes de mesures étant suffisamment longues, le stockage et le destockage de l'énergie solaire passive sont sans effet sur les bilans.

Figure 5-7, déperditions thermiques du CAPI par transmission, renouvellement d'air et vaporisation d'eau, cumulées, pour l'année 1988-89

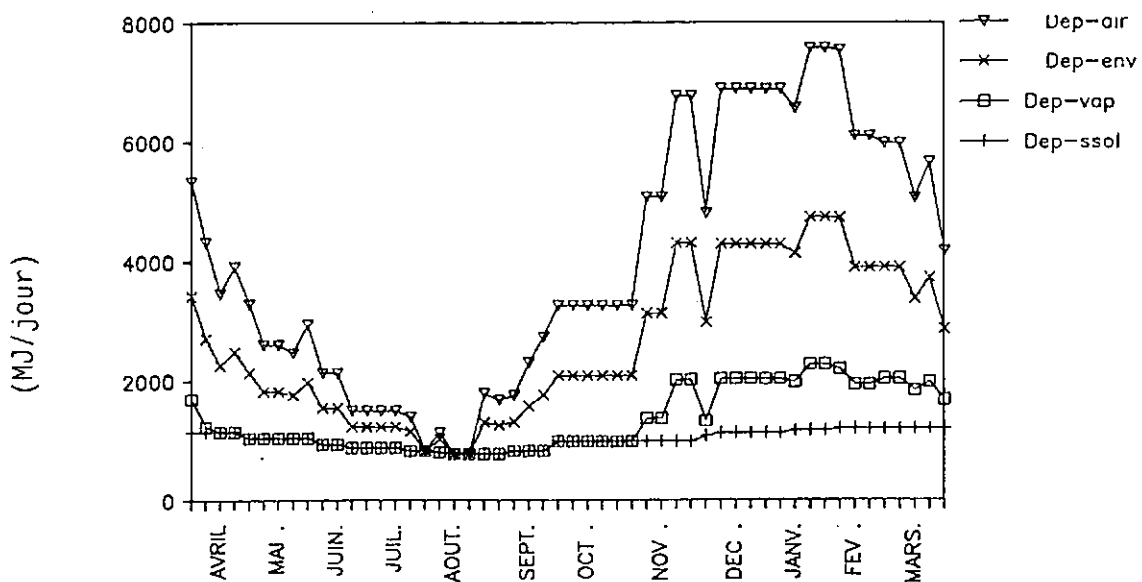


Figure 5-8, récupération d'énergie et apports internes cumulés du CAPI pour l'année 1988-89

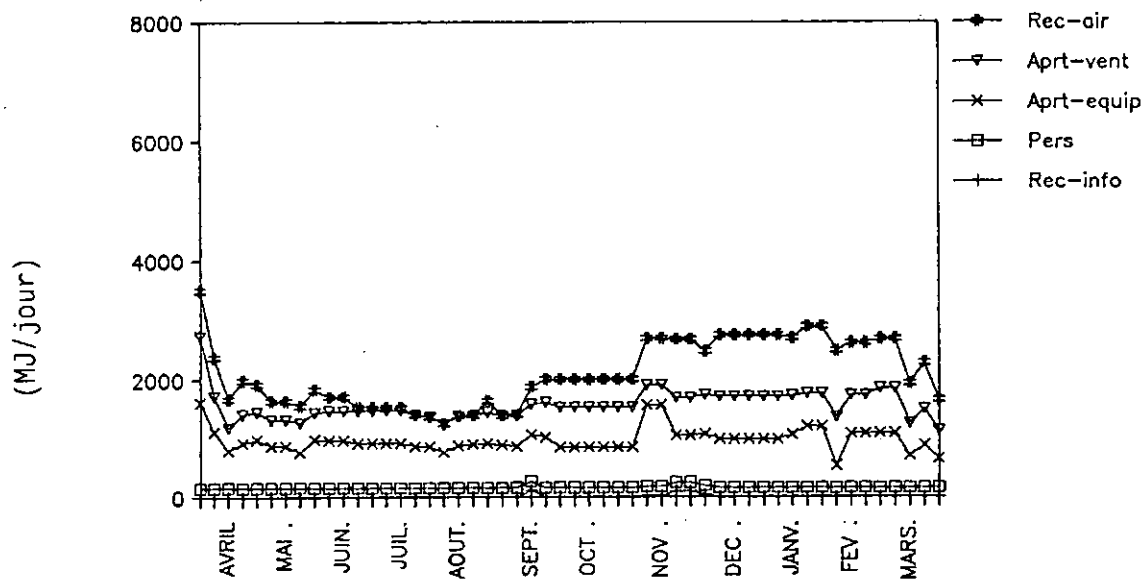
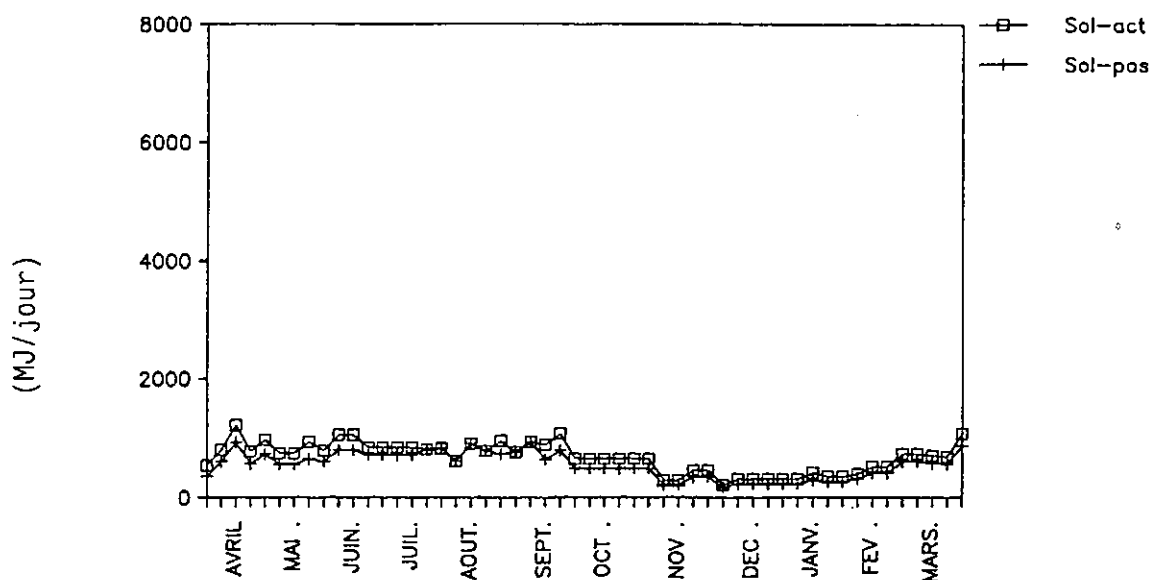


Figure 5-9, gains solaires cumulés des capteurs (sol-act) et des fenêtres (sol-pas) pour l'année 1988-89



L'ensoleillement des façades (5 orientations) est calculé par le logiciel G3 (4), qui recalculé le rayonnement direct et diffus arrivant jour par jour sur un plan d'orientation et d'inclinaison choisi à partir du rayonnement horizontal mesuré à Cointrin.

Les gains solaires passifs sont donc calculés en fonction de l'ensoleillement global des façades "G", de la surface des verres "S", de la transmission des vitrages "g", de la régulation des stores "fs" et des ombres portées des bâtiments voisins "fo" (tableau 5-10).

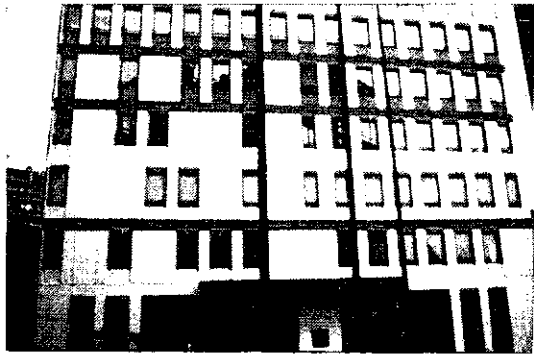
$$\text{Energie "Sol-pas"} = G * S * g * fs * fo$$

- L'incidence des ombres portées est évaluée d'après les études d'ombrage tirée du rapport "d'optimisation énergétique" du GRES.
- Pour évaluer l'incidence du mouvement des stores et du comportement des usagers, nous avons tenté de développer une méthode d'observation de la façade au moyen d'un appareil photographique à prises de vues automatiques (figure 5-11), et d'un questionnaire aux usagers (annexe 3).  
Le week-end, les stores sont baissés par la régulation centrale il n'y donc pas de gains solaires passifs.  
L'observation et le questionnaire montrent une utilisation des stores principalement pour des raisons d'éblouissement, mais en proportion très faible.  
L'évaluation de l'usage des stores, effectuée sur une semaine au mois de septembre, reste valable toute l'année d'après nos vérifications ponctuelles en été et en hiver.

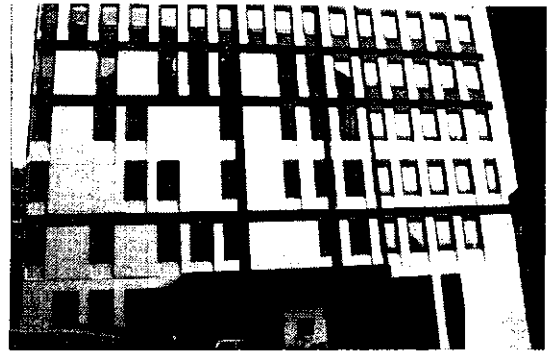
Tableau 5-10 évaluation des facteurs d'utilisation des stores, des coefficients de transmission et d'ombrage pour l'immeuble CAPI

	Sud	Ouest	Nord-1	Nord-2	Nord-3	Est
Surface vitrée "S"	137.1m <sup>3</sup>	20.3	41.0m <sup>3</sup>	3.6m <sup>3</sup>	3.7m <sup>3</sup>	50.9m <sup>3</sup>
Facteur de réduction dû aux stores = "fs"	0.87	0.90	1.0	1.0	1.0	.98
Facteur de transmission (triple vitrage) = "g"	0.60	0.60	0.60	0.60	.60	.60
janvier Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.65 0.34	1.0 0.54	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.99 0.58
février Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.76 0.40	1.0 0.54	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.97 0.57
mars Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.90 0.47	1.0 0.54	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.91 0.54
avril-août Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	1.0 0.52	1.0 0.54	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.59
septembre Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.89 0.46	1.0 0.59	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.90 0.53
octobre Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.76 0.40	1.0 0.59	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.96 0.56
novembre Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.61 0.32	1.0 0.59	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.98 0.58
décembre Facteur d'ombrage = "fo" g * fs * fo	0.54 0.28	1.0 0.59	1.0 0.60	1.0 0.60	1.0 0.60	0.99 0.58

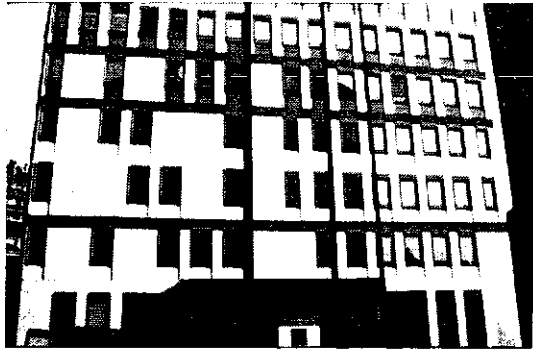
Figure 5-11 évaluation du mouvement des stores sur la façade sud du bâtiment CAPI (12 septembre 1988)



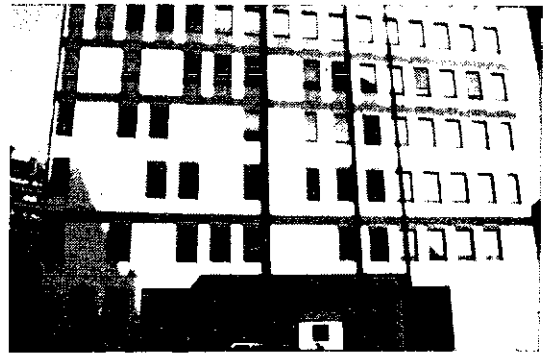
8 heures



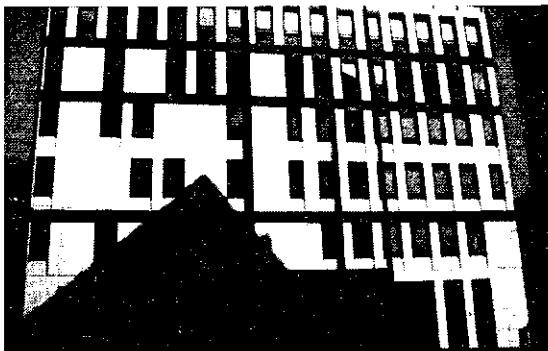
9 heures



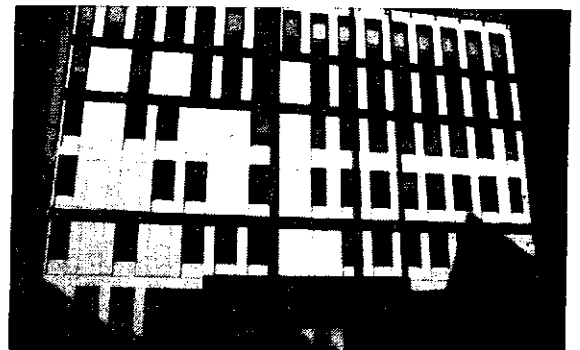
10 heures



11 heures



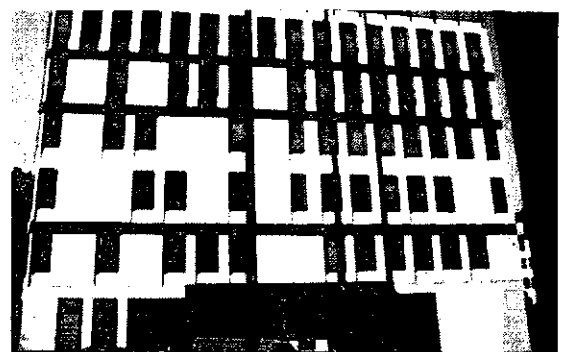
12 heures



14 heures



15 heures



16 heures

### 5.1.6.2 le système solaire actif du CAPI

#### Description du système

80m<sup>2</sup> de collecteurs solaires à air sont installés sur le toit du bâtiment, inclinés de 45° vers le sud. Un accumulateur de chaleur, constitué de 72 fûts remplis d'eau (17m<sup>3</sup> au total) permet d'emmagasiner la chaleur excédentaire.

Pendant la période de chauffage ( $T_{\text{extérieure}} < 20^{\circ}\text{C}$ ), l'air neuf pour le bâtiment est d'abord préchauffé par l'air extrait/récupération par un circuit à eau glycolée), puis passe par les capteurs ou le stock, avant d'être prétraité (humidification, etc.) (voir tableau 6-12).

#### Estimation des performances de l'installation

Ce système a été mesuré de façon détaillée par le Laboratoire de thermodynamique et énergétique de l'EPFL = 21 points de mesure dont les valeurs ont été stockées à l'intervalle réduit de 15 mn, et ce pendant plus de trois mois. Malheureusement, aucun chiffre précis concernant le bilan thermique des capteurs n'est accessible facilement. Nous sommes donc partis de la caractérisation des capteurs solaires et du stockage présentée dans le rapport final de cette étude (5).

#### Efficacité du système en mode "direct" (sans stockage)

Dans un premier temps, nous avons évalué avec le logiciel G3 (4) le rendement du système dans le cas suivant:

- mode direct, sans stockage intermédiaire,
- température de l'air à l'entrée des capteurs 10°C l'hiver (décembre - février) et 15°C en mi-saison (= température de l'air après la batterie de récupération sur air extrait).

L'efficacité d'un tel système est optimum, dans le sens où l'on suppose que toute la chaleur produite par les capteurs est utilisée. Les résultats sont donnés sur la figure 5-12 le rendement ne dépasse guère 20% durant les mois froids et peu ensoleillés et n'atteint pas 40% en mi-saison. La mauvaise qualité optique des capteurs ( $F \cdot \tau_{\alpha} = 0.45$ ) est la cause principale de ces chiffres médiocres.

#### Efficacité du système existant

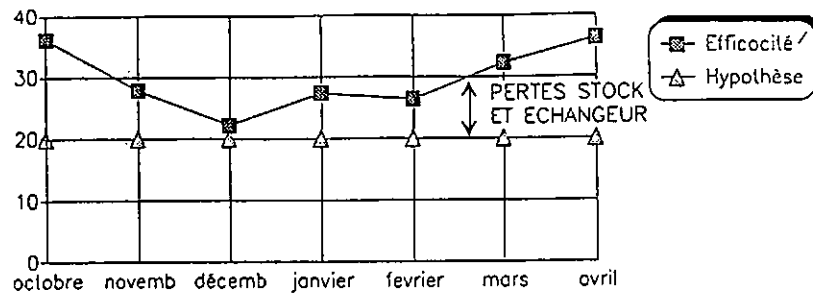
L'adjonction d'un stock va faire baisser les performances pour trois raisons:

- augmentation de la température de travail des collecteurs due à l'échangeur de chaleur entre capteurs et stockage. Céder 330 W par m<sup>2</sup> de collecteur au stockage, soit 1/3 de 1000 W/m<sup>2</sup>, exige une élévation de température des capteurs de 30°C au dessus de la température du stock;
- augmentation de la température de travail des collecteurs, parallèlement à la montée en température du stock, pour pouvoir stocker l'énergie par chaleur sensible (chaque kWh par m<sup>2</sup> de collecteur emmagasiné demande 5 °C);
- pertes d'énergie du stock vers le local.

La régulation stocke la chaleur dès que c'est possible plutôt que dès que nécessaire et tend naturellement à la dégradation des performances.

Ainsi, les mesures citées plus haut ont montré «que le mode direct est assez rare, le mode direct + charge (du stock) prédomine même en hiver». De plus, «les débits soutirés de la partie solaire de l'installation diminuent au fur et à mesure de l'avancement dans l'année, provoquant une chute des performances du système solaire».

Figure 5-12 efficacité du système de captage solaire fonctionnant en mode direct ou avec le stockage



En absence de résultats plus précis, et au vu des performances attendues en mode direct, nous avons fixé un rendement constant de 20% pendant la saison de chauffage (mi-septembre à fin avril) et de 0% durant l'été (pas d'utilisation possible).

## 5.2 Le défaut de bilan

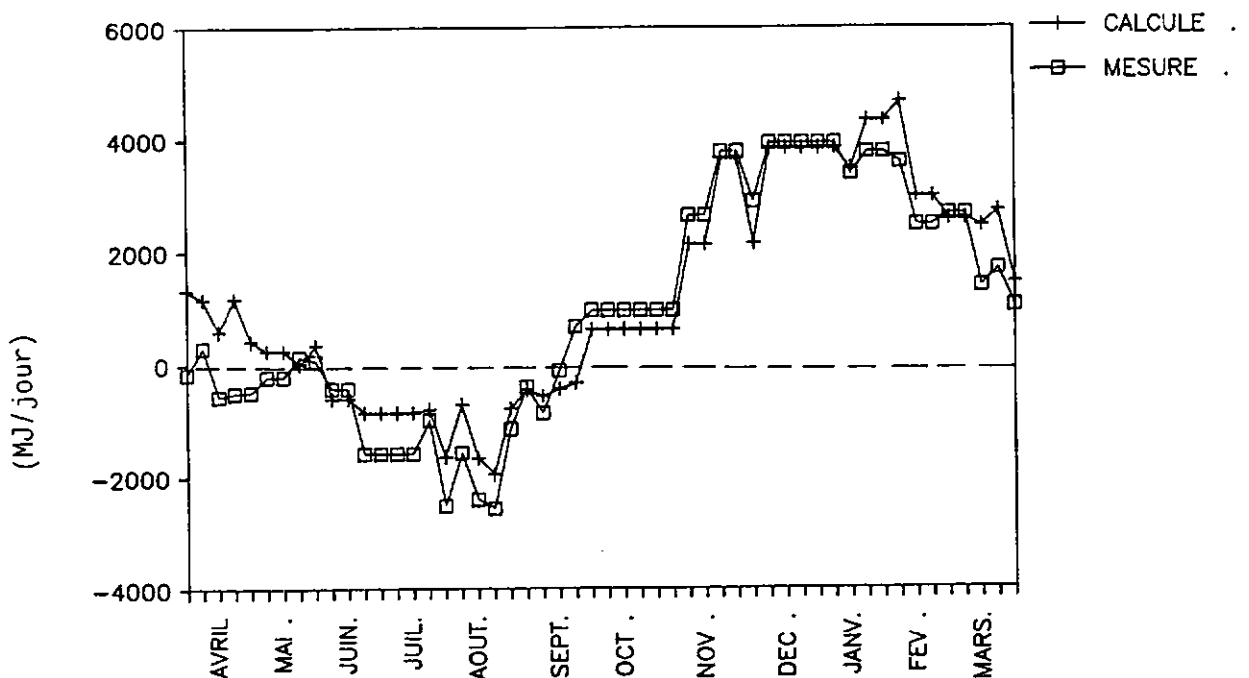
Par définition, dans un bilan thermique les flux positifs et négatifs doivent s'annuler.

Donc si, lorsque l'on fait la somme des flux positifs et négatifs de ce bilan, on obtient un résultat non nul, ce chiffre note le défaut du bilan. Ce défaut de bilan nous permet de vérifier la précision des hypothèses et des calculs.

En représentant dans un graphique, d'une part les besoins de chauffage calculés et d'autre part le bilan du chauffage et de climatisation mesurés, la différence des deux lignes illustre l'imprécision des calculs.

Il apparaît dans notre graphique que le degré de précision du bilan est satisfaisant.

Figure 5-13 comparaison des besoins de chauffage et de climatisation calculés avec le bilan du chauffage et de la climatisation mesurés d'avril 1988 à mars 1989



## 6 ANALYSE DU BILAN THERMIQUE

L'indice énergétique du CAPI est élevé, malgré les efforts mis dans la recherche d'un bâtiment performant et les investissements en dispositifs favorisant les économies d'énergie (chapitre 4).

Par l'analyse du bilan thermique on pourra connaître l'origine de cet indice décevant et s'orienter vers des solutions d'améliorations.

Cette analyse se fera :

1. en comparant les prévisions du GRES (1), mandaté pour définir le concept énergétique du CAPI, avec notre bilan 1988-1989;
2. en comparant le bilan du CAPI aux statistiques et normes existants pour ce type de bâtiment;
3. en analysant le fonctionnement des installations (enveloppe, systèmes de récupérations de chaleur, les équipements, les capteurs solaires, le chauffage, la climatisation et la régulation en général) .

### 6.1 Récupération de la chaleur évacuée du centre informatique

Avant même toute analyse, les mesures montrent, de manière évidente, que la récupération de l'énergie extraite par la climatisation du local informatique est pratiquement nulle. Alors qu'il consomme 51 % de l'électricité nécessaire au CAPI. C'est là un des points prioritaire d'une analyse complémentaire à ce rapport.

### 6.2 Déperditions thermiques à travers l'enveloppe et par renouvellement d'air

La conservation de l'énergie est principalement assurée par une bonne conception de l'enveloppe et une bonne gestion du renouvellement d'air. La comparaison des prévisions du GRES et des calcul pour la période 1988-1989 (figure 6-1, 6-2, 6-3) fait apparaître que :

- les déperditions par renouvellement d'air sont du même ordre que les déperditions de l'enveloppe et mériteraient une vérification des besoins réels de renouvellement d'air en fonction du nombre d'occupants de cet immeuble.
- l'énergie nécessaire à l'humidification de l'air pendant la période de chauffage n'est pas négligeable. Elle s'enclanche pour une température de l'air extérieur au-dessous de 12 °C, limite que l'on pourrait envisager de baisser (2).
- les déperditions vers le sol sont calculées par des méthodes trop simplifiées (domaine peu étudié) et nécessiteraient une étude complémentaire.

Au total les déperditions thermiques 1988-1989 du CAPI sont plus grandes que celles prévues par le rapport du GRES.

Essayons d'en comprendre la raison en vérifiant d'abord si l'objet réalisé correspond aux indications des auteurs du concept (tableau 6-4 et 6-5):

Figure 6-1. TOTAL DES DEPERDITIONS

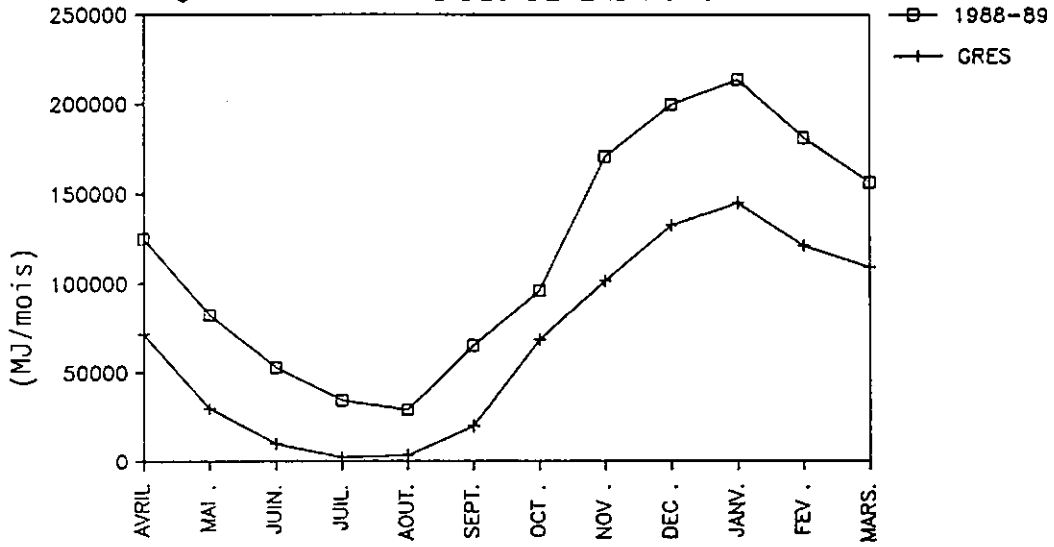


Figure 6-2. DEPERDITION 88-89

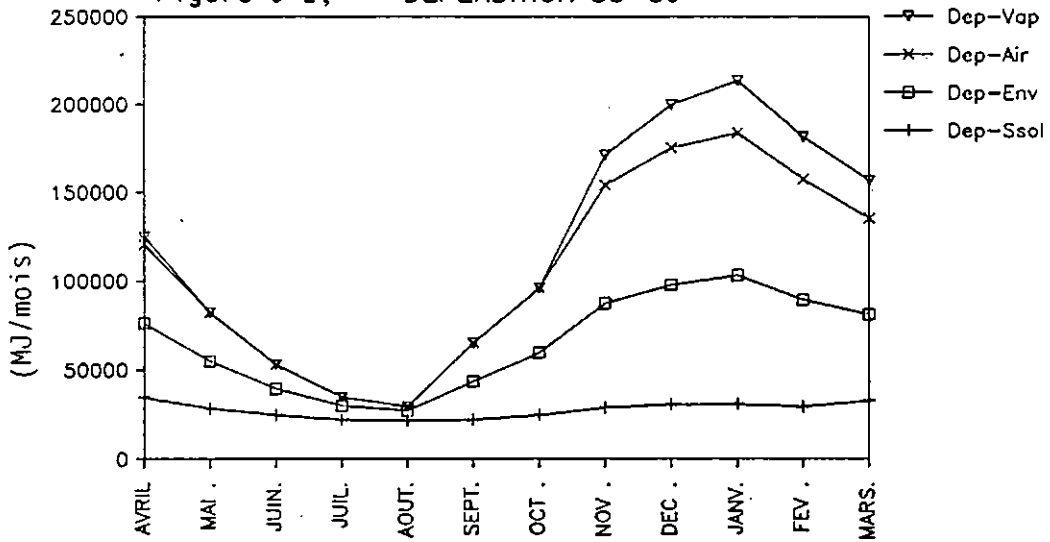
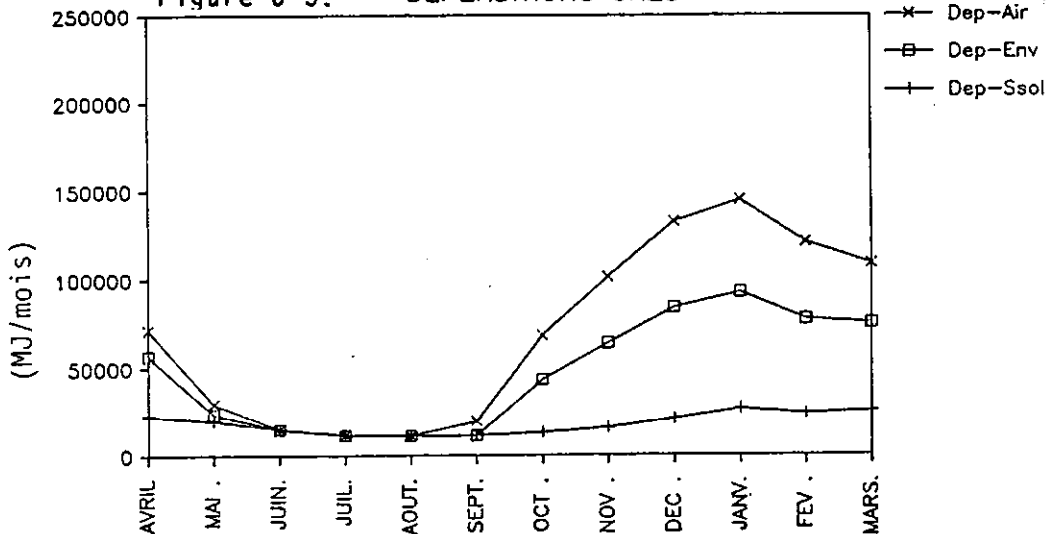


Figure 6-3. DEPERDITIONS GRES





L'enveloppe a été réalisée avec soins, conformément aux prévisions du rapport, mais les vitrages et les cadres de fenêtres ont un coefficient de transmission thermique plus élevé.

Le volume du renouvellement d'air prévu par la régulation des installations correspond aux prévisions du rapport.

La températures de l'air est plus haute que prévue l'hiver (23 °C au lieu de 20) et plus faible l'été (23 °C au lieu de 26 °C prévu), ce qui entraîne des déperditions d'énergie l'hiver et des problèmes de climatisation l'été.

Une fluctuation de la température intérieure permettrait de mieux respecter les prévisions énergétiques. (tout en tenant compte des exigences du confort).

### 6.3 Récupération de l'énergie

Tableau 6-6, récupération de l'énergie

	Concept énergétique	CAPI 1988-1989
Principe	utilisation maximum des apports internes	
Proposition	- préchauffage de l'air neuf, en priorité par échange avec l'air rejeté	correspond
	- transfert du surplus de chaleur d'une zone à l'autre	correspond
	- préchauffage de l'air neuf par récupération de la chaleur des ordinateurs	réalisé mais ne fonctionne pas
	- transfert de l'énergie des ordinateurs dans le circuit de l'eau de chauffage par échangeur.	réalisé mais ne fonctionne pas

En préchauffant l'air neuf on récupère plus d'énergie que n'en prévoit le GRES étant donné la température plus élevée de l'air extrait.

A remarquer que l'échangeur à eau glycolée a une efficacité (max 45 %) plus faible que d'autres types d'échangeurs (par exemple à plaque, max 60 %) qui, dans certains cas, permettent en plus de récupérer une partie de l'humidité mais qui nécessitent une modification de l'installation (2).

### 6.4 Les apports internes

#### 6.4.1 apports par pertes de charge des ventilateurs

Ces apports sont directement dépendants du volume d'air neuf et recyclé déplacé dans ce bâtiment et du type d'installation.

Les apports thermiques qu'ils représentent sont importants et réguliers sur l'année, ce qui, l'été, nécessite de les éliminer et augmente les charges de climatisation.

De plus c'est de la chaleur électrique, l'énergie la plus chère.

L'économie dans ce secteur reste prioritaire car elle se répercute sur la consommation d'électricité et sur les besoins de climatisation.

#### **6.4.2 Les apports des équipements et de l'éclairage**

Ces apports proviennent de l'usage d'électricité pour l'éclairage, pour les machines de bureau, etc.

Aucune prévision n'apparaît dans le rapport du GRES mais l'indice énergétique électrique mesuré, non compris l'informatique, est plus élevé que les valeurs indicatives de la SIA pour ce genre de bâtiment. (CAPI = 308 MJ/m<sup>2</sup>.an), SIA = 250 MJ/m<sup>2</sup>.an) (3).

Cet aspect du bilan énergétique et électrique n'a pas été approfondi, mais la petite taille du bâtiment devrait permettre un meilleur usage de la lumière naturelle.

Le recensement des équipements effectué au cours du travail n'a pas été exploité.

### **6.5 Utilisation de l'énergie solaire**

#### **6.5.1 l'énergie solaire passive**

Le bilan thermique montre que les gains solaires passifs sont importants et utiles l'hiver mais que, dès la mi-saison et surtout en été, la climatisation doit éliminer un surplus d'énergie dans le bâtiment provenant entre autre du solaire passif.

En effet, en comparant les gains d'énergie solaire passive prévus par le GRES et les calculs du bilan 1988-1989, on s'aperçoit qu'ils sont légèrement inférieurs l'hiver et plus du double l'été et en mi-saison. Cette différence a pour origine :

- l'hiver, une fermeture automatique des stores deux jour par semaine, qui ne permet pas de profiter des gains solaires.
- l'été et en mi-saison, l'utilisateur n'abaisse pas les stores et l'énergie solaire doit être éliminée par la climatisation.

Les questionnaires montrent que le mobile principal des fermetures de stores est l'éblouissement.

Les gains solaires passifs d'été contribuent donc, de manière importante, au besoin de climatisation. Une régulation appropriée, soit pour l'abaissement des stores soit pour la climatisation, diminuerait ces gains solaires indésirables.

#### **6.5.2 utilisation de l'énergie solaire active**

Les apports solaires des capteurs et du stockage sont modestes dans l'ensemble des besoins d'énergie de chauffage (et même comparés au solaire passif, voir figure 6.9) et leur utilité est limitée à une période courte.

La comparaison de nos calculs avec les prévisions du GRES fait apparaître un apport plus faible (bien que la surface installée soit de 30 % supérieure aux prévisions) et limité à l'hiver, alors que le GRES prévoyait des apports sur l'ensemble de l'année.

Le système de capteurs à air est lié au système de prétraitement de l'air qui ne fonctionne que pour autant que l'air extérieur ait moins de 20 °C.

Eventuellement donner la priorité au mode direct pour améliorer l'efficacité du système.

Tableau 6-7, utilisation de l'énergie solaire passive

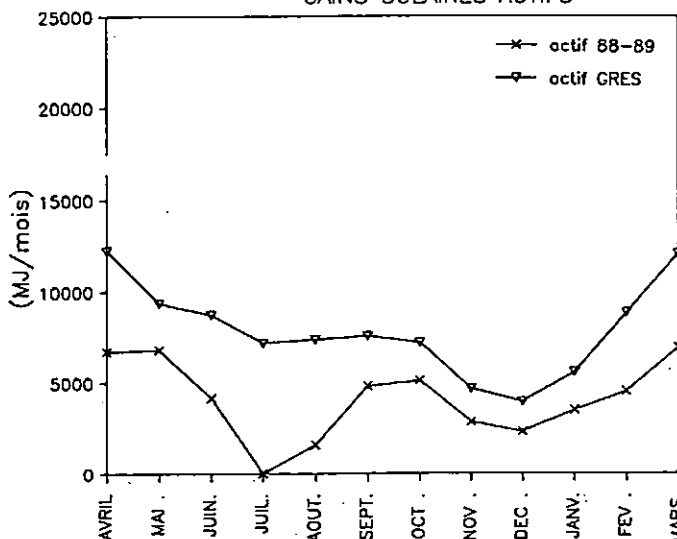
	Concept énergétique	CAPI 1988-1989
Principe	utilisation des vitrages de la façade sud pour les gains solaires	
Proposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>- optimisation de la position des fenêtres en fonction des ombres portées</li> <li>- dispositif de fenêtre comprenant un verre simple extérieur, un store réfléchissant actionné par un moteur électrique et contrôle centralisé, et un double vitrage. Le verre extérieur se déplace de manière à pouvoir ventiler l'été l'espace entre le store et le verre extérieur.</li> <li>- transfert de l'énergie solaire d'une zone vers l'autre.</li> </ul>	<p>correspond</p> <p>triple vitrage store foncé</p> <p>pas de ventilation estivale correspond</p>

Tableau 6-8, utilisation de l'énergie solaire active

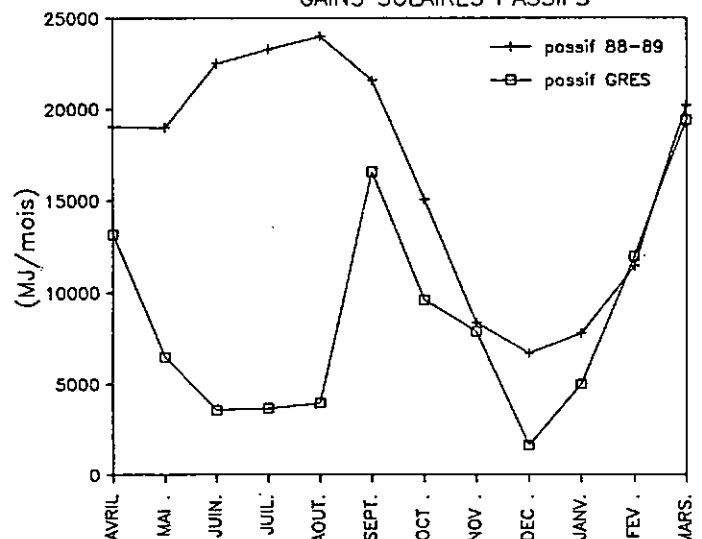
	Concept énergétique	CAPI 1988-1989
Principe	capteurs solaires sur le toit permettant de participer au chauffage en hiver et mi-saison.	
Proposition	des capteurs à air (60 m <sup>2</sup> ), avec un stockage à eau de 20 m <sup>3</sup> doivent permettre de préchauffer l'air et participer au chauffage de l'immeuble.	80 m <sup>2</sup> de capteurs 17 m <sup>3</sup> de stockage

Figure 6-9,

GAINS SOLAIRES ACTIFS



GAINS SOLAIRES PASSIFS



## 6.6 Installations techniques pour le chauffage, la climatisation et la régulation CAPI

Tableau 6-10, climatisation et chauffage

	Concept énergétique	CAPI 1988-1989
Principe	Le choix s'est porté sur un système de ventilation et de climatisation qui assure, de plus, en hiver le chauffage et l'humidification de l'air.	
Proposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le système de ventilation doit être à basse pression, l'ensemble du débit d'air est traité en centrale;</li> <li>- il est pulsé dans les locaux groupés en zone;</li> <li>- un monobloc de traitement d'air est installé par zone;</li> <li>- chaque bureau est muni d'une batterie de postchauffage et d'un thermostat;</li> <li>- une régulation appropriée est prévue pour le passage d'un régime à un autre:  hiver jour/hiver nuit/week-end/été jour/été nuit/mi-saison.</li> </ul>	<p>pression moyenne</p> <p>correspond</p> <p>correspond</p> <p>correspond à eau chaude</p> <p>pas de régime mais régulation par consigne</p>

### 6.6.1 Climatisation et chauffage

Le choix de la climatisation à 100 % de l'immeuble entraîne une consommation d'énergie élevée.

Aujourd'hui selon la nouvelle recommandation SIA 380/1 cet immeuble ne devrait pas être climatisé mais seulement ventilé.

En effet cette recommandation ne donne comme raison de climatisation que:

- des bureaux de plus de 200 m<sup>2</sup>
- moins de 3 m<sup>2</sup> par personne
- plus de 45 W/m<sup>2</sup> de production de chaleur

et ces conditions ne sont pas remplies au CAPI.

La conception d'une climatisation à air, avec une thermostatisation individuelle par post-chauffage, entraîne nécessairement l'utilisation simultanée du chauffage et de la climatisation.

Toutefois, cette superposition de chauffage et de climatisation pourrait être limitée par une température d'air pulsé adéquate ce qui ne semble pas le cas au CAPI.

Il serait possible d'ajuster ces températures par essais successifs, d'introduire un régime de régulation été hiver ou alors de couper le chauffage l'été.

Figure 6-11, principe de chauffage, climatisation et régulation

REGULATION DU SYSTEME DE CLIMATISATION ET DE CHAUFFAGE DE L'IMMEUBLE CAPI

	PRETRAITEMENT GENERAL Si Text. < 20°C (hiver, mi saison, été le matin)			TRAITEMENT PAR ZONE			RECUPERATION
SYSTEME							
SOUS SYSTEMES	1° préchauffage récupération sur air extrait	2° préchauffage système solaire	Prétraitement . préchauffage par récupération sur ordinateurs . humidification	Mélange : . air recyclé . air prétraité extérieur	Préparation de l'air pulsé et insulation par zone	Climatisation par postchauffage . récupération ordinateurs . chaufferie	Récupération de chaleur sur air extrait par circuit d'eau glycolé
CONSIGNES	En marche si Text. < 20°C	En marche si Text. < 20°C Tcap. > Tin (mode direct) Tstock > Tin (mode charge) Tcap. > Tstock (décharge) T : Température cap : capteurs in : sortie récupérateur : entrée système actif	En marche si Text. < 12°C Consigno : 45% Hum. rel.	Répartition	Température de l'air pulsé fonction de : Text. et Ensoleillement	Thermostatisation de chaque local selon consigne individuelle	En marche si Text. < 20°C
PROBLEMES	Pas de récupération l'été	.Stockage prioritaire donc perte d'efficacité .Préchauffage possible de l'air l'été, suivi immédiatement par un refroidissement. Par exemple, en juillet 1988, la température moyenne à 7heures est 17,2°C et elle dépasse 20°C 5 jours seulement.	Récupération sur ordinateur ne fonctionne pas.	.Complexe à réguler .Pas de free cooling de nuit .	Zoning nécessaire ? .Différentiation soleil/couvert entraîne la non fermeture des stores .Température de l'air pulsé trop basse et débit trop fort.	Récupération sur ordinateurs ne fonctionne pas.	

### 6.6.2 régulation

Il s'agit d'un ensemble extrêmement complexe dont la description détaillée dépasse le cadre de ce travail. Nous nous contenterons donc de résumer succinctement son fonctionnement et les problèmes observés du point de vue gestion énergétique.

Remarquons que l'ensemble fonctionne correctement, dans le sens où les consignes intérieures sont respectées.

De manière plus générale, le principe est indiqué dans la figure 6-11.

Une caractéristique de cette régulation est que les conditions extérieures (température et ensoleillement) interviennent à tous les niveaux:

- elles fixent la valeur de consigne de la température de l'air pulsé avant le postchauffage
- elles influencent fortement la température intérieure du bâtiment, qui est finalement la température à contrôler
- elles interviennent sur l'énergie captée par le système solaire actif et la possibilité de l'utiliser, via le réglage du mélange air frais/air recyclé.

La température et l'ensoleillement interviennent donc aussi bien au niveau des consignes que des commandes et ceci dans chaque sous-système; et sont la source principale des perturbations du milieu réglé. Par exemple, l'ensoleillement étant inclus dans la consigne par une baisse de la température de l'air pulsé en cas de soleil, il s'ensuit une évacuation automatique des calories solaires en été. Ainsi, même en laissant les stores ouverts en pleine canicule, le climat intérieur reste constant; la personne voulant économiser de l'énergie (production de froid) en abaissant les stores risque même de se trouver pénalisée par un bureau trop froid !

Cette imbrication a pour conséquence une grande complexité et une interdépendance poussée entre les différents sous-systèmes de la régulation. L'ingénieur de régulation a cherché en premier lieu à ce que l'installation exécute les consignes, une tâche déjà fort délicate, ce qui a conduit inévitablement à une médiocre gestion énergétique.

## **7 PROPOSITION D'INTERVENTIONS PERMETTANT DE REDUIRE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DU BATIMENT**

Sur la base de l'analyse du comportement thermique du CAPI au moyen du bilan énergétique, nous formulons trois propositions d'améliorations :

- proposition 1,** ne comportant pas de modifications importantes des installations, réalisable sans investissements importants.
- proposition 2,** modification des installations dans des limites raisonnables.
- proposition 3,** modifications importantes dans l'hypothèse théorique d'une reconstruction.

Il va de soit que, dans le cadre de cette étude, ces propositions ne font que donner l'orientation générale de travaux à envisager. Nous avons plus particulièrement développé la proposition 1 avec un choix de solutions réalistes et une évaluation de l'ordre de grandeur des économies qu'elle permet. Leur mise en oeuvre nécessiterait une collaboration avec les divers spécialistes concernés.

### **7.1 Proposition 1, amélioration du comportement énergétique du CAPI sans modifications importantes des installations**

**Principe : assurer un bonne complémentarité entre l'enveloppe et les installations.**

**Redimensionner la climatisation, simplifier la régulation et permettre une fluctuation journalière et saisonnière du climat intérieur pour tirer parti de la masse de l'enveloppe et des protections estivales.**

#### **7.1.1 réduction de l'énergie de ventilation**

La ventilation a pour rôle de garantir la qualité de l'air et de maintenir le confort thermique désiré en recyclant l'air et en le prétraitant. C'est l'un des grands consommateurs d'électricité du CAPI (27 % de la consommation totale).

L'analyse de cette installation (chapitre 6.6) nous permet de penser que sans diminuer la qualité de l'air, il serait possible de diminuer de moitié le taux de renouvellement d'air et d'un tiers la ventilation en général ce qui, du point de vue technique, semble relativement simple à réaliser (modification des poulies, par exemple).

Selon une évaluation rapide, il en résulterait:

- une diminution de consommation électrique d'environ 50 000 kWh par an pour la ventilation;
- une diminution de 20 % des besoins de chauffage, provenant principalement de la diminution des pertes par renouvellement d'air et de l'énergie pour l'humidification de l'air.
- diminution des besoin de climatisation de 8% (diminution des pertes de charge de la ventilation l'été).
- amélioration du confort thermique en diminuant la vitesse des mouvements d'air.

### **7.1.2 régulation des protections solaires estivales**

Actuellement la puissance des installations de climatisation, sa régulation permettent, l'été, d'évacuer les apports solaires sans que cela nécessite l'abaissement des stores pour préserver le confort thermique.

Solution proposée :

- l'été, les stores peuvent être abaissés automatiquement en cas de soleil à l'aide des commandes électriques existantes, avec possibilité individuelle de les manoeuvrer;
- adapter la régulation de la climatisation pour que la température puisse fluctuer.

En préservant le bâtiment de 70 % de l'énergie solaire estivale l'économie qui en découlerait serait de l'ordre de 55 000 MJ pour la climatisation soit environ 20 % de celle-ci.

### **7.1.3 Modification de la régulation**

Un ajustement des températures de consigne de l'air pulsé dans les diverses zones, lié à la diminution du débit de ventilation, permettrait d'éliminer une grande partie du fonctionnement simultané du chauffage et de la climatisation de l'air en été. Cela permettrait, en outre, une fluctuation des températures pour tirer profit de la capacité de stockage de la structure de ce bâtiment.

En réduisant de 80 % ces fonctionnements simultanés, l'économie des besoins nets de chaud et de froid serait de l'ordre de 90 000 MJ sur l'année.

Introduire des régimes saisonniers été-hiver pour gérer les stores et éviter des préchauffages de l'air, éventuels, l'été.

Baisser la consigne d'humidification de 12 à 8 °C par exemple, ce qui permettrait d'économiser de l'ordre de 30 000 MJ sur l'année.

### **7.1.4 capteurs solaires**

Augmenter le rendement des capteurs solaires en privilégiant l'utilisation directe de l'air chaud sans passer par le stockage.

### **7.1.5 Déperditions thermiques par les sous-sols**

Réduire la ventilation du sous-sol au minimum en rapport avec l'affectation de ces locaux (dépot, compactus) et maintenir une température plus basse.

### **7.1.6 Récupération de l'énergie du local informatique**

Etudier la possibilité d'augmenter la récupération la chaleur évacuée du local informatique.

### **7.1.7 Eclairage artificiel**

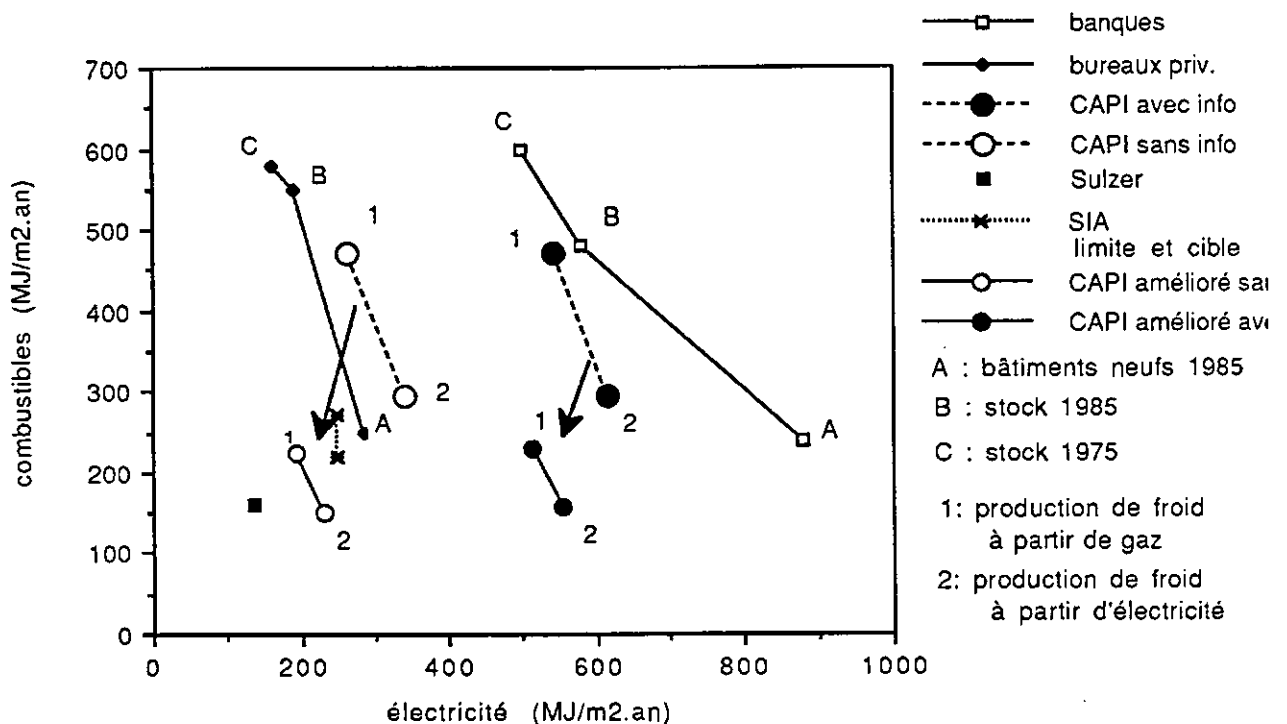
Améliorer la complémentarité entre lumière naturelle et lumière artificielle.

### 7.1.8 Améliorations de l'indice énergétique après les améliorations proposées

L'ensemble de ces interventions devrait permettre une amélioration spectaculaire, diminuant de presque 50 % des besoins en combustibles et d'environ 15 % les besoins en électricité.

Sur le tableau comparatif (figure 8.1.8-1), le CAPI serait plus performant que les bâtiments neufs de 1985 et son indice énergétique meilleur que la limite de la recommandation SIA 380/1.

La quantité de combustible nécessaire pour le chauffage est proche des besoins du bâtiment Sulzer. Reste à obtenir une amélioration possible pour la climatisation et la consommation l'électricité.



### 7.2 Proposition 2, amélioration énergétique du CAPI avec modification des installations

7.2.1 principe: arrêter la climatisation lorsqu'elle n'est pas nécessaire (hiver et une partie des mi-saisons), tout en maintenant une ventilation minimum.

Favoriser la ventilation nocturne l'été et n'enclancher la climatisation qu'au-delà de seuils limites.

7.2.2 Proposition : outre les interventions de la proposition 1, des interventions plus importantes porteront sur la modification de la régulation, la mise en place de moteurs de ventilation à puissance variable, d'une amélioration de la récupération sur le renouvellement d'air.

### 7.3 Proposition 3, amélioration énergétique du CAPI dans l'hypothèse d'un nouveau projet

7.3.1 principe : ne pas climatiser mais rafraîchir le bâtiment

## 8. CONCLUSIONS; LES LECONS DE CETTE EXPERIENCE

Le comportement thermique et énergétique du CAPI est, sur la base des mesures 1988-89, tout à fait moyen et, ceci, malgré une conception originale visant à rendre le bâtiment performant.

### 8.1 Comportement global du CAPI

L'analyse de son bilan nous a permis de localiser divers dysfonctionnements et inadéquations de systèmes, de principes ou d'installations qui expliquent ce bilan thermique "ordinaire".

Au cours du déroulement de l'opération CAPI, de l'étude énergétique jusqu'à la mise en service, le concept a perdu sa cohérence du fait de changements de programmes, de transmissions successives de responsabilités d'ingénieur à ingénieur et d'ingénieur à entreprise, et du fait de la décomposition de la gestion thermique de ce bâtiment en une série d'installations parallèles et partielles.

Ces installations et dispositifs pris séparément fonctionnent la plupart du temps parfaitement; mais par rapport au comportement global du bâtiment certains deviennent inopérants, voire contreproductifs:

- une régulation et une climatisation trop performante entraînent un fonctionnement simultané trop important du chauffage et de la climatisation;
- la masse de l'immeuble, prévue comme régulateur, est inutilisée, car la température est maintenue constante à 23 °C;
- l'énergie solaire passive est utilisée à mauvais escient et augmente terriblement les charges thermiques de la climatisation en été;
- les capteurs à air chaud produisent de la chaleur qu'ils stockent dans 17 m<sup>3</sup> d'eau.  
L'été cette masse est à 60 °C, mais cette chaleur ne peut être transférée dans l'installation de chauffage qui, elle, fonctionne aussi.

### 8.2 Les leçons de cette expérience

Les propositions d'améliorations formulées démontrent, donc, que la potentialité de ce bâtiment est bonne, pour autant que l'enveloppe et les installations fonctionnent en synergie.

L'indice énergétique devrait pouvoir rivaliser avec ceux d'exemples très performants.

Dans cette expérience les étapes et les choix importants lors de la construction d'un tel bâtiment sont:

- Conception d'une enveloppe bien isolée à forte inertie thermique, utilisant au mieux la lumière naturelle et l'énergie solaire (s'en protégeant l'été et en bénéficiant l'hiver).

- Le choix de climatiser tout ou partie de l'immeuble. L'option de climatiser un bâtiment représente une augmentation importante de la consommation d'énergie. Le CAPI, par exemple, ne répond pas aux critères d'un bâtiment à climatiser ainsi que le définissent les nouvelles recommandations de la SIA.
- La complexité et la multiplication de systèmes de récupération, de prétraitement et de régulation rendent inextricable le contrôle du comportement du bâtiment et aléatoires, les possibilités d'interventions de la personne en charge de la gestion.
- Le contrôle détaillé des installations et de leurs performances, lors de leur mise en service, ainsi qu'une surveillance d'une année au moins pour vérifier le bon fonctionnement des installations dans toutes les conditions climatiques.
- Enfin, assurer une bonne coordination entre les divers spécialistes et installateurs, ceci de la conception à la réalisation. Ce thème est d'ailleurs d'actualité et a donné naissance à un groupe de travail de la SIA sur les "installations et l'énergie dans le bâtiment, GIE".

## REFERENCES

## CHAPITRE 1

- (1) Juillard D., *Caisse de prévoyance interprofessionnelle (C.P.I.)*, juin 1983.
- (2) Faist, A., Chiché, P., Zakher A., Saxer J., *Etude d'optimisation énergétique dans le cadre de la construction de l'extension du C.I.P. à Genève*, GRES EPFL, novembre 1979.
- (3) Mandat de l'OFEN du 30 décembre 1982, Accord KNS(82)V-17.
- (4) Gianola J. C., Passos E.F., *Etude des performances de l'installation solaire de l'immeuble "CAPI" à Genève*, Laboratoire de thermodynamique et énergétique, EPFL, rapport final, juillet 1985.

## CHAPITRE 2

- (1) Juillard et Bollinger Architectes, *24 projets*, Genève.
- (2) Juillard D., *Caisse de prévoyance interprofessionnelle (C.P.I.)*, juin 1983.

## CHAPITRE 4

- (1) Goldemberg J., Johansson T., Reddy A., Williams R., *Energy for a Sustainable World*, Wiley-Eastern, New Delhi, 1988, pp. 117-120.
- (2) Office fédéral des questions conjoncturelles, *Installations techniques des bâtiments: situation actuelle*, Berne, 1986.
- (3) Wick B., Stulz R., Sprenger H., Chuard P., Spreng D., *Nachfrage Elektrizität Dienstleistungssektor*, Expertengruppe Energieszenarien, Arbeitsdokument Nr. 11, Bern, 1988.
- (4) Brunner C., Baumgartner A., Müller E., Sprenger H., Stulz R., Wick B., *Banken und Detailhandel*, Nationales Forschungsprogramm 44, *Énergie: Sozio-ökonomische Forschungen im Konsumbereich*, Zürich, 1987.
- (5) Schweizer Energiefachbuch 1987, *Energiesparhaus Sulzer Winterthur*, M&T Verlag AG, St. Gallen.
- (6) Wolf V., Hofmann M., *Das Sulzer-Energiesparhaus in Winterthur*, in *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 11/82.
- (7) Aebischer B., Pain D., Giovannini B., *Perspective de la demande d'énergie en Suisse, 1985-2025. Annexe 2: Arguments scientifiques et techniques pour l'utilisation optimale de l'énergie*. Groupe d'experts scénarios énergétiques, N° 18, annexe 2, Bern, 1988.

**CHAPITRE 5**

- (1) *Guide solaire passif, Projeter - Dimensionner*, Groupe de recherche en énergie solaire de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 1985.
- (2) *Norm SIA 384/2*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich.
- (3) *Installations techniques des bâtiments: situation actuelle*, Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, 1986.
- (4) Lachal B., O. Guisan, A. Mermoud, O. Rudaz, O. Kaelin, *Le Programme G<sup>3</sup> pour PC description validations et mode d'emploi*, Groupe de Physique Appliquée, Université de Genève, 1988.
- (5) Passos E. T., J. C. Gianola, *L'étude des performances de l'installation solaire de l'immeuble CAPI à Genève*, EPFL, Rapport Final, 7185.

**CHAPITRE 6**

- (1) Faist, A., Chiché, P., Zakher A., Saxer J., *Etude d'optimisation énergétique dans le cadre de la construction de l'extension du C.I.P. à Genève*, GRES EPFL, novembre 1979.
- (2) *Installations techniques des bâtiments: situation actuelle*, Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, 1986.
- (3) *SIA Recommandation 380/1, Edition de 1988*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich, 1988.

## ANNEXE 4-1

## Fiche de relevé de mars 1988 à avril 1989

## RELEVÉS DES COMPTEURS DE CHALEURS ET DES COMPTEURS ELECTRIQUES POUR L'ANNEE 1988-1989

DATE	HEURE	CHAUFFAGE CAPI		FROID CAPI		RECUP. EDPAC		T ext. oC	T stock oC	T bat.rec oC	T p.sol oC	E info kWh	E asc kWh	E clim kWh	E general	
		kWh	m3 (x.1)	kWh (x.1)	m3 (x.01)	kWh (x.1)	m3 (x.01)								kWh (x3)	kWh (x3)
3/31/1988	14.00	244836	419983.00	863054.00	861638.00	188546.00	579374	10.50	22.50	17.50	22.00	865673.00	20140.00	534190.00	120453.00	478055.00
4/ 7/1988	14.65	244840	419220.00	866640.00	910475.00	188549.00	579389	15.50	26.00	21.00	38.00	872540.00	20285.00	538158.00	121431.00	481634.00
4/14/1988	14.58	245982	421679.00	872546.00	934168.00	188549.00	579408	20.00	44.00	40.00	60.00	876863.00	20401.00	540294.00	122017.00	483822.00
4/22/1988	8.50	245997	421719.00	885307.00	966702.00	188551.00	579425	11.50	42.00	18.00	25.00	880477.00	20495.00	541814.00	122537.00	485468.00
4/28/1988	14.25	245998	421726.00	894456.00	997667.00	188553.00	579435	13.00	40.00	21.00	47.00	883752.00	20592.00	543350.00	122969.00	487083.00
5/ 5/1988	13.75	246015	421764.00	904506.00	1027463.00	188561.00	579602	18.00	54.00	48.00	77.00	887228.00	20698.00	544997.00	123460.00	488832.00
5/19/1988	13.75	249490	430558.00	948376.00	1101656.00	188571.00	579730	16.00	48.00	26.00	37.00	894586.00	20878.00	548125.00	124477.00	492237.00
5/26/1988	10.00	250571	433153.00	956934.00	1115483.00	188686.00	581423	22.50	57.00	30.00	73.00	898354.00	20958.00	549867.00	124998.00	493931.00
6/ 2/1988	13.75	252618	439001.00	976574.00	1152323.00	188686.00	581452	20.00	58.00	52.00	82.00	901942.00	21072.00	551498.00	125483.00	495733.00
6/17/1988	8.75	256571	451538.00	1034586.00	1248204.00	188702.00	581614	20.00	58.00	26.00	44.00	908969.00	21288.00	555220.00	126529.00	499378.00
7/14/1988	13.67	260181	470900.00	1191641.00	1401617.00	188751.00	581978	22.50	62.00	46.00	73.00	923450.00	21654.00	562806.00	128689.00	506496.00
7/21/1988	16.00	261715	478121.00	1226754.00	1425164.00	188752.00	581988	32.00	64.00	45.00	88.00	927252.00	21742.00	564716.00	129220.00	508333.00
7/28/1988	14.00	261891	483802.00	1277200.00	1470465.00	188758.00	582135	24.00	67.00	60.00	85.00	931131.00	21822.00	566469.00	129747.00	510134.00
8/ 4/1988	10.00	261915	488430.00	1307530.00	1524247.00	188759.00	582152	17.00	53.00	23.00	31.00	934761.00	21884.00	568141.00	130249.00	511782.00
8/11/1988	9.00	262203	493155.00	1357236.00	1573939.00	188763.00	582184	25.00	62.00	30.00	41.00	938475.00	21963.00	569908.00	130776.00	513547.00
8/18/1988	9.00	262742	497753.00	1412841.00	1638205.00	188763.00	582209	24.00	62.00	30.00	42.00	942494.00	22047.00	571642.00	131312.00	515410.00
8/25/1988	14.17	264317	502579.00	1451900.00	1693558.00	188766.00	582257	19.00	58.00	26.00	54.00	946355.00	22150.00	573548.00	131838.00	517313.00
9/ 1/1988	9.00	265967	507264.00	1476298.00	1719331.00	188766.00	582271	18.00	56.00	26.00	34.00	950129.00	22237.00	575259.00	132376.00	519063.00
9/ 9/1988	11.25	268029	512914.00	1516780.00	1753699.00	188778.00	582321	20.00	60.00	30.00	51.00	954352.00	22339.00	577458.00	132955.00	521151.00
9/15/1988	11.00	269762	517121.00	1536272.00	1771221.00	190706.00	589291	9.00	47.00	13.00	28.00	957511.00	22418.00	579022.00	133405.00	522715.00
9/22/1988	11.17	272228	522197.00	1548057.00	1788746.00	190762.00	589600	22.50	60.00	54.00	86.00	961343.00	22524.00	581114.00	133955.00	524699.00
11/ 3/1988	16.50	290762	559439.00	1622287.00	1865159.00	191507.00	593040	7.00	25.00	11.00	16.00	982732.00	23116.00	595568.00	137310.00	535985.00
11/17/1988	11.00	300837	572811.00	1622716.00	1866601.00	192362.00	611264	5.00	19.00	10.00	18.50	989607.00	23323.00	597943.00	138424.00	539722.00
11/28/1988	8	312212		1622761.00		195366.00		1.00	11.00	6.00	10.00	994827.00	23462.00	601449.00	139282.00	542579.00
12/ 5/1988	8	317781		1622768.00		196102.00		10.00	18.00	20.00	14.00	998288.00	23569.00	603809.00	139846.00	544525.00
1/12/1989	10	359184	639259.00	1622770.00	1868374.00	196138.00	614375	2.50	14.00	8.00	22.00	1018931.00	24081.00	617701.00	143130.00	555672.00
1/19/1989	10	365736	647893.00	1622770.00	1868374.00	196141.00	614387	1.00	14.00	8.00	12.00	1022897.00	24180.00	620032.00	143750.00	557741.00
2/ 3/1989	9	381342	665747.00	1622770.00	1868374.00	196143.00	615401	-4.00	14.00	7.00	8.00	1031296.00	24421.00	624231.00	145074.00	562068.00
2/ 9/1989	10	387341	672676.00	1622770.00	1868374.00	196147.00	614414	-3.00	16.00	10.00	10.00	1034975.00	24512.00	626754.00	145604.00	563817.00
2/23/1989	16.00	397038	688782.00	1622770.00	1868374.00	196172.00	614719	9.50	24.00	14.00	18.00	1043429.00	24715.00	631414.00	146905.00	568112.00
3/ 9/1989	14.00	407269	705825.00	1622771.00	1868377.00	196175.00	614729	9.50	24.00	16.00	38.00	1052736.00	24945.00	636740.00	148336.00	572762.00
3/16/1989	10.67	409881	712234.00	1622775.00	1868383.00	196199.00	614819	9.00	24.00	22.00	19.00	1056424.00	25020.00	638657.00	148890.00	574420.00
3/23/1989	11.00	413148	718891.00	1622775.00	1868383.00	196214.00	614873	8.00	42.00	36.00	58.00	1060956.00	25148.00	640832.00	149515.00	576505.00
3/31/1989	11.75	415419	725170.00	1622775.00	1868383.00	196214.00		14.00	50.00	20.50	40.00	1065447.00	25213.00	642788.00	150138.00	578393.00

**ANNEXE 5-1 Questionnaire destiné aux occupants du CAPI**

CENTRE UNIVERSITAIRE POUR L'ETUDE DES PROBLEMES D'ENERGIE , CUEPE  
Etude thermique de l'immeuble CAPI et de son installation solaire

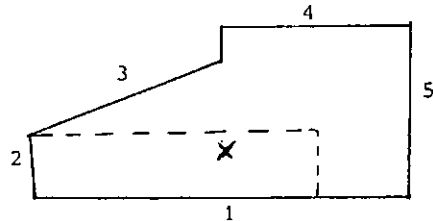
QUESTIONNAIRE AUX USAGERS

Date : ... 12/9 .....

a) Situation

Etage : ... 4 .....

Placer un X à l'endroit de votre place de travail :



b) Stores

Par façade, position des stores dans votre bureau :

ouvert  
 1/2 ouvert  
 fermé

Façade                      nb. de fenêtres

8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

① ..... 10 .....  
② ..... 3 .....  
3 .....  
4 .....  
5 .....


Raison principale pour la fermeture : trop chaud  
trop de lumière X

Remarques : .....

c) Eclairage artificiel

Utilisation de la lumière par bureau :

allumé  
 1/2 allumé  
 éteint

8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18


Remarques : .....

d) Confort

Appréciation générale du confort thermique : trop chaud  
agréable  
trop froid

Appréciation générale du confort visuel : trop lumineux  
agréable  
trop sombre

Remarques : .....