

A183



# EN CHAUFFAGE DE BUREAUX, LE GRAND JEU :

## DOUBLE-FLUX + OPTIMISATION + CONDENSATION

F. CROQUELOIS

L'étude précédente traitait des immeubles de bureaux et se terminait par la mise en évidence de l'intérêt du double-flux associé à l'optimisation et aux chaudières à condensation. Cependant les démonstrations théoriques ne remplacent pas l'exemple vécu. Aussi allons-nous examiner en détail une installation récente sur un immeuble de bureaux situé à Evreux.

### 4.8) Double-flux, condensation, optimisation : tout pour économiser l'énergie.

#### 4.8.1) Présentation de la Mutualité agricole d'Evreux.

La Mutualité agricole d'Evreux est un immeuble de bureaux de 8770 m<sup>2</sup>. D'architecture moderne, l'immeuble comprend un noyau central et quatre branches latérales comme on peut le voir sur la photo ci-dessous.

Certaines branches latérales se terminent par des terrasses donnant une extrémité de bâtiment en niveaux décalés. A ce bâtiment principal est adjoint le restaurant d'entreprise qui fait 700 m<sup>2</sup> au sol pour un volume chauffé de 3600 m<sup>3</sup>.

Une seule chaufferie dessert les deux bâtiments. Le restaurant dispose d'une sous-station raccordée à la chaufferie par un réseau enterré. Il est chauffé par air chaud à partir de deux caissons de traitement d'air. Un réseau avec radiateurs permet d'assurer la mise hors gel du bâtiment. Le bâtiment principal comporte deux réseaux de chauffage avec radiateurs, les branches latérales étant regroupées 2 par 2.

La ventilation est assurée par un double-flux à partir de deux caissons de traitement d'air.

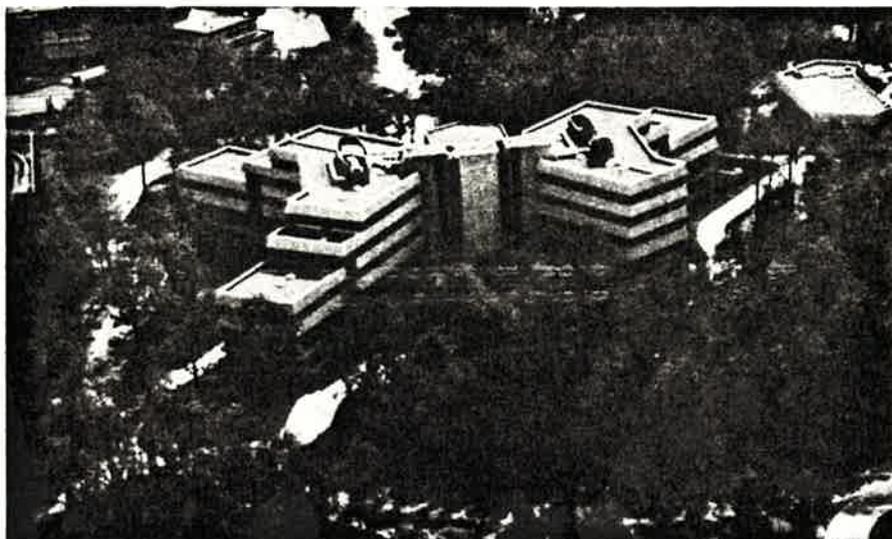
La chaufferie est équipée de trois chaudières à condensation du type récupérateur-condenseur intégré. Les trois récupérateurs-condenseurs sont irrigués par le circuit d'eau glycolée des batteries de réchauffage d'air, selon le schéma inférieur de la figure 56\* : les circuits d'air

sont regroupés et la récupération sur l'air est assurée par un récupérateur indépendant, mais les caissons de traitement d'air ne sont pas équipés de volets de recyclage.

Le G1 du bâtiment est de 0,64 W/m<sup>3</sup>.°C, le renouvellement d'air en période d'occupation est de 1 volume/heure. Compte tenu de la forte hauteur sous plafond du restaurant, l'équivalence avec l'immeuble de bureaux est faite en corrigeant la surface au sol de 700 m<sup>2</sup> à 1157 m<sup>2</sup>. La surface considérée dans l'étude ci-après est de 8770 + 1157, soit 9927 m<sup>2</sup> pour une hauteur moyenne sous plafond de 3,1 m.

\* Voir CFP n° 460 page 64.

Immeuble de la Mutualité agricole d'Evreux. Architecte : D. BARTHE ; B. E.T : Sté UFFI ; Installateur : Sté RINEAU ; Exploitant : Sté RIEX-SERC ; Matériel d'optimisation : Sté LANDIS et GYR ; Chaudières à condensation : Sté GUILLOT.



En chauffage de bureaux, le grand jeu

4.8.2) Analyse des consommations.

Sur la figure 60 on a porté trois points de fonctionnement :

— le point A correspond à l'installation sans recherche d'économie d'énergie : pas de modulation du renouvellement d'air, pas de récupération sur les fumées, pas d'optimisation du chauffage, pas de robinets thermostatiques.

— Le point B correspond à l'installation réelle.

— Le point C correspond aux résultats théoriques que l'on pouvait attendre compte tenu des moyens mis en œuvre en supposant un fonctionnement parfait de tous les dispositifs.

La position du point de fonctionnement réel dans le diagramme montre bien que les résultats sont actuellement corrects mais que la situation doit encore être améliorée pour tendre vers le point C. Comment améliorer l'installation ?

La réponse à cette question ne peut être donnée qu'après un diagnostic sérieux du fonctionnement de l'installation pendant la première année d'exploitation. La droite de fonctionnement fournit une première série d'informations (figure 61) :

— Au début de la saison de chauffage 1983-1984, l'ordinateur qui gère l'optimisation fonctionne mal, la régulation est tantôt manuelle, tantôt automatique. Les mois d'octobre, novembre et décembre sont alignés suivant un B/R de 1,32 W/m<sup>3</sup>.°C.

— A partir du mois de janvier l'optimisation commence à donner satisfaction, les points sont alignés avec un B/R de 1,09 W/m<sup>3</sup>.°C.

Cependant on constate encore trois défauts majeurs (pas d'optimisation du restaurant, installation mal équilibrée, mauvais emplacement des sondes de mesure de température intérieure).

— Ces défauts sont corrigés au mois d'octobre 1984 et la saison de chauffage 1984-1985 donne une droite de fonctionnement avec un B/R de 0,79 W/m<sup>3</sup>.°C.

— Cependant, on notera que pour ces trois périodes les températures de non-chauffage réel ont augmenté de 13 °C à 13,3 °C puis à 15,5 °C. Cette augmentation de la « Tncr » compense en partie la réduction de consommation due à l'amélioration de l'optimisation du chauffage.

Une analyse encore plus fine du fonctionnement de l'installation peut être effectuée à partir des figures 62 à 65. Ces figures ont été établies à partir du suivi de l'installation de décembre 1980 à mai 1984. On y trouve en ordonnée le taux d'utilisation de la puissance installée calculé sous forme d'une moyenne établie à partir de mesures effectuées toutes les cinq minutes, et en abscisse, la température extérieure

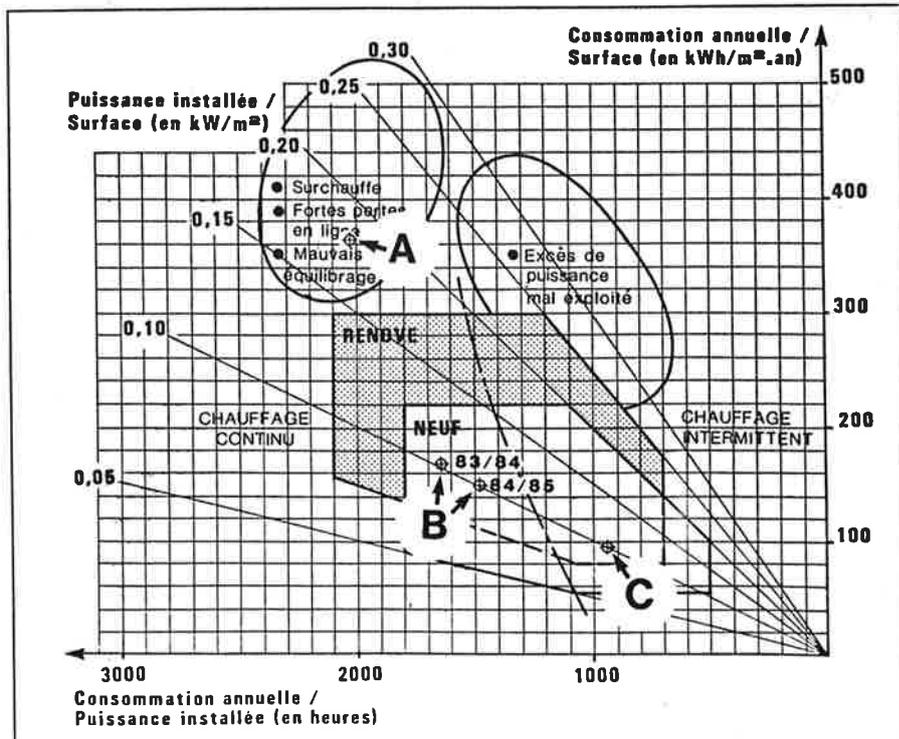
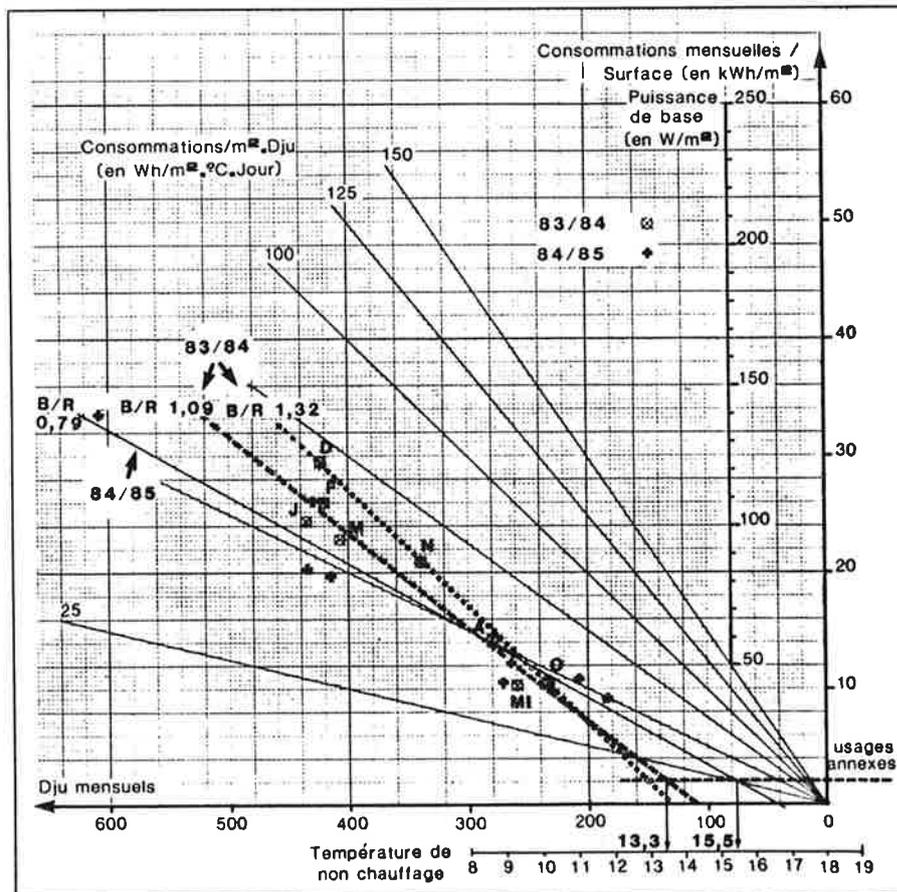


Figure 60. Point de fonctionnement de la chaufferie de la Mutualité agricole d'Evreux. (Station de Rouen, 83/84 2733 Dju et 84/85 2793 Dju.)

Figure 61. Analyse graphique des consommations mensuelles de la Mutualité agricole d'Evreux.



### En chauffage de bureaux, le grand jeu

moyenne calculée à partir des mêmes mesures que précédemment. Sur la **figure 62**, on a porté les valeurs moyennes hebdomadaires.

Deux types de points sont portés sur l'abaque :

— Les ronds numérotés correspondent à des semaines pendant lesquelles l'acquisition de données a fonctionné sans défaut. La numérotation indique la progression des semaines de décembre à mai.

— Les astérisques correspondent à des semaines pendant lesquelles l'acquisition de données a été partielle.

La droite de fonctionnement qui peut être tracée correspond à un B/R de  $0,99 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  sachant que la puissance moyenne appelée est de 56 % de la puissance installée pour une température moyenne journalière extérieure de  $-7^\circ\text{C}$ . La température de non-chauffage est estimée à  $15,1^\circ\text{C}$ . En réalité cette température est légèrement plus faible puisque nous n'avons pas pris en compte la préparation d'eau chaude sanitaire pour la cuisine. On constate que cette température est plus élevée que celle donnée par l'analyse des consommations mensuelles (**figure 61**) qui était de  $13,3^\circ\text{C}$ . Ceci est dû au fait que les deux températures ne correspondent pas aux mêmes moyennes :

— La **figure 61** est établie en fonction des Dju, c'est-à-dire que les températures extérieures supérieures à  $18^\circ\text{C}$  sont comptées à  $18^\circ\text{C}$ .

— La **figure 62** est établie en fonction des températures moyennes hebdomadaires sans plafonnement des températures extérieures.

Il en résulte que vers la fin de la saison de chauffage les fluctuations journalières de températures peuvent être importantes et dépasser  $18^\circ\text{C}$  de jour, ce qui conduit par exemple à 4 Dju pour une journée alors que la température moyenne réelle est de  $18^\circ\text{C}$  parce que la température était de  $22^\circ\text{C}$  vers 16 heures et  $12^\circ\text{C}$  vers 7 heures. A cette réserve près, on notera que les deux analyses aboutissent à des résultats équivalents puisque par exemple les B/R de 0,99 et 1,09 correspondent à un écart d'environ 10 %.

La connaissance de la puissance appelée permet d'examiner les résultats de l'optimisation. Nous avons ainsi traité séparément la fin de semaine (du vendredi 17 heures au lundi 8 heures), les lundis et mardis (du lundi 8 heures au mercredi 8 heures), les mercredis et jeudis (du mercredi 8 heures au vendredi 8 heures); les résultats sont portés sur les **figures 63, 64 et 65**.

La **figure 63** est révélatrice de la rigueur dans l'arrêt du chauffage puisqu'elle concerne une période d'inoccupation. On constate que les points marqués 1, 2, 3, 4 et 14 correspondent à un fonctionnement continu de l'installation suite à une défaillance de l'optimiseur, en particulier pendant les premières semaines de mise au point, leur position est équivalente aux

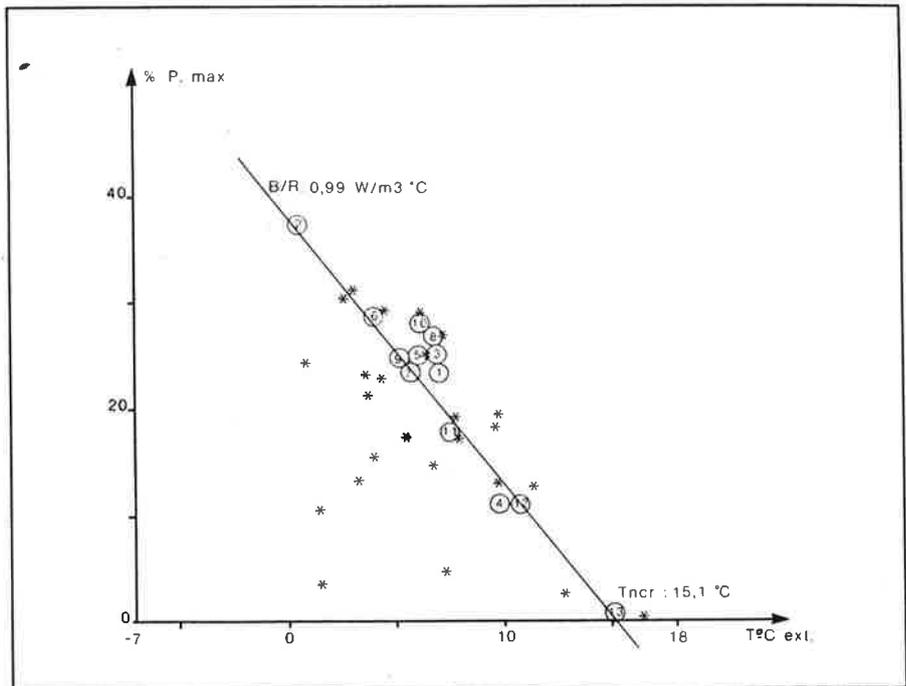


Figure 62. Moyenne hebdomadaire.

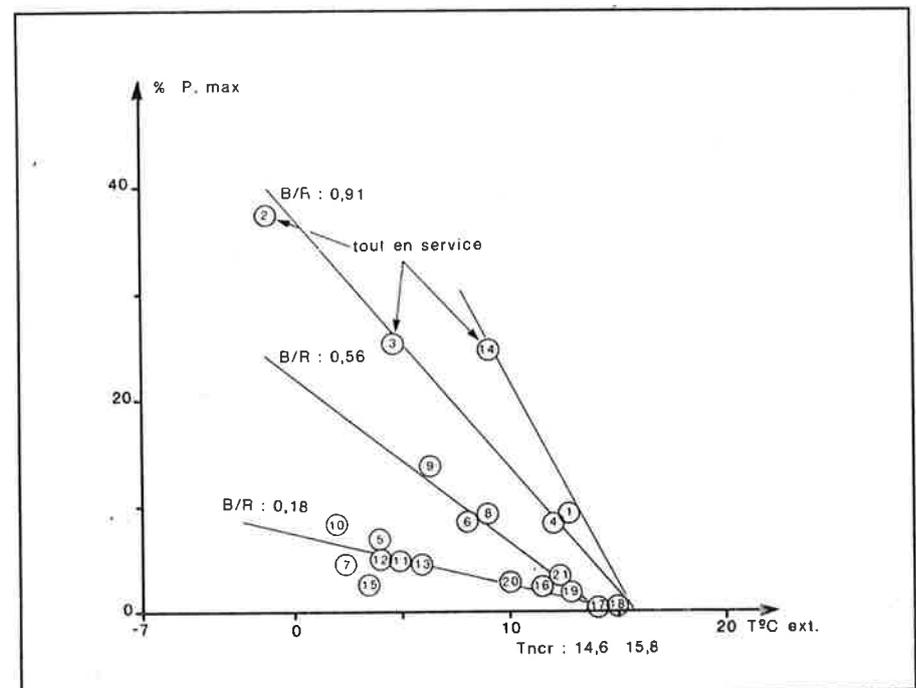


Figure 63. Puissance moyenne appelée les samedi et dimanche.

points hebdomadaires de la **figure 62**. La première phase de réglage de l'optimisation correspond aux points numérotés 6, 8 et 9 et se situe au mois de janvier 1984, période pendant laquelle l'arrêt du chauffage et de la ventilation du restaurant n'était pas encore maîtrisé. La dernière phase conduit à un B/R de  $0,18 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ . Cette puissance moyenne appelée est due à l'entretien des pertes de la

chaufferie, au maintien hors gel de l'installation, aux périodes de relance qui débutent le plus souvent au voisinage de 20 heures le dimanche soir. Pendant cette première saison de chauffage il a été décidé de maintenir la chaufferie en service continue à cause du réseau enterré qui relie la chaufferie au restaurant d'entreprise. Dans ces conditions, les consommations de la fin de semaine sont environ cinq fois plus

En chauffage de bureaux, le grand jeu

faibles que les consommations hebdomadaires. Ce résultat peut encore être amélioré par l'arrêt de la chaufferie en dehors des périodes de gel. Sur les figures 64 et 65 on a examiné séparément les puissances moyennes appelées de jour et de nuit. La période de nuit commence à 17 heures et se termine à 8 heures le lendemain ; elle comprend donc la période de relance du chauffage. On notera les écarts de B/R entre les deux périodes :

— lundi et mardi le B/R est de 1,08 le jour et 1,40 la nuit ;

— mercredi et jeudi le B/R est de 1,03 le jour et 1,25 la nuit.

On a déjà évoqué le rôle de la capacité thermique du bâtiment qui cède des calories le samedi et le dimanche et qui se reconstitue pendant la semaine<sup>(1)</sup>. L'écart de 5 % sur le B/R peut être dû au fait que les mercredi et jeudi les parois sont déjà remontées en température et puisent moins de calories sur le chauffage de l'immeuble. Il peut sembler surprenant que le B/R soit si élevé la nuit puisqu'il atteint 1,40 et 1,25 mais on notera que la température de non-chauffage est de 14 °C la nuit pour 21 °C le jour. Pour comparer des situations différentes par le B/R et par la Tncr on a utilisé précédemment une transposition de la Tncr en coefficient d'intermittence qui permettait de considérer le coefficient global  $B/R \times I$ <sup>(2)</sup>. On peut utiliser cette méthode pour comparer les différentes périodes de chauffage de la Mutualité agricole d'Evreux. Le tableau 12 regroupe les éléments de la comparaison. La colonne  $B/R \times I$  est caractéristique de la puissance nécessaire pour 1 volume de 1 m<sup>3</sup>, pour couvrir un écart de 1 °C vis-à-vis de l'extérieur, en moyenne annuelle. On y mesure le poids de l'optimisation du chauffage avec modulation du renouvellement d'air. Pour comparer les consommations relatives à chaque période, il faut pondérer chaque  $B/R \times I$  de la durée de la période. Pour former la semaine complète, on a supposé que le vendredi qui n'intervient que pour la période d'occupation a les mêmes caractéristiques que la période « mercredi-jeudi ».

On constate que la composition des éléments partiels obtenus à partir des figures 62, 63 et 64 se recoupe à 3 % près avec l'analyse hebdomadaire de la figure 61, la somme des  $B/R \times I$  des différentes périodes, pondérés de leur durée, conduit à 118,8 pour une valeur hebdomadaire de 121,4. Cette bonne concordance nous permet de calculer le poids de chacune des périodes dans les consommations hebdomadaires. Le week-end n'intervient que pour 6,4 % dans les consommations annuelles alors qu'il représente 37 % du temps. L'optimisation du week-end semble donc satisfaisante puisque cette part de consommation comprend la relance du chauffage du lundi matin. Pour

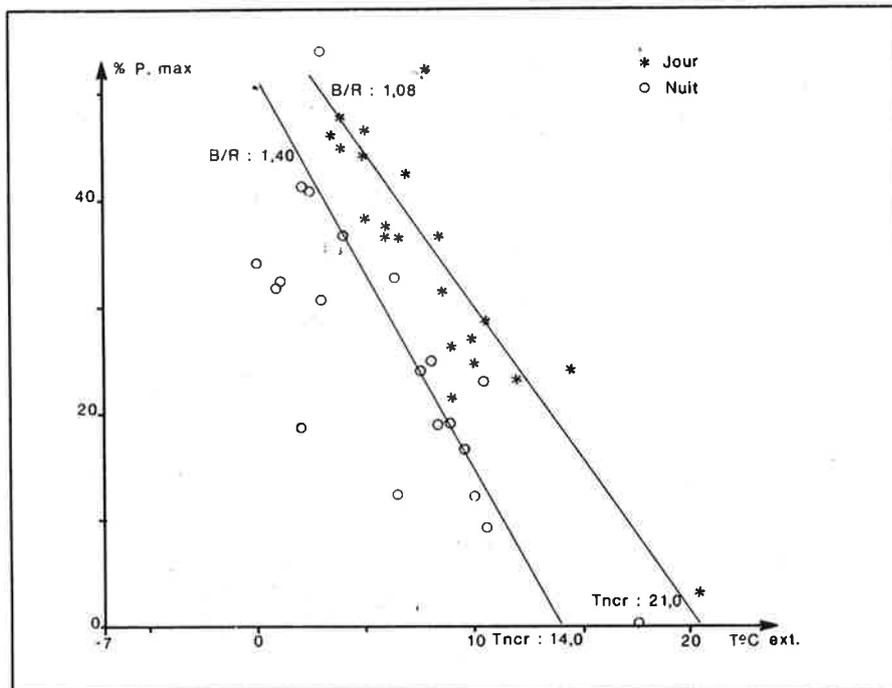
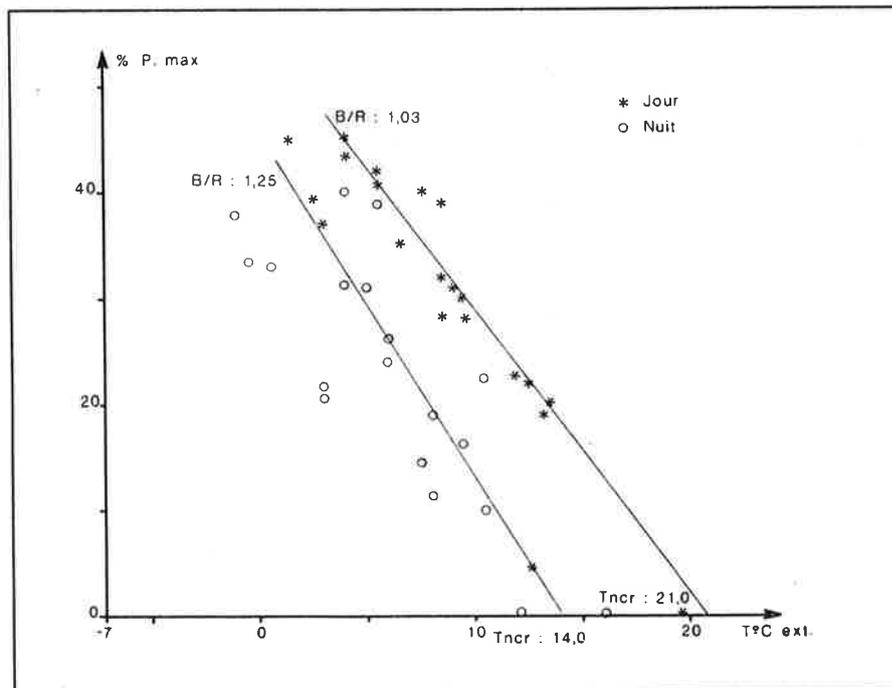


Figure 64. Puissance moyenne appelée jour/nuit pour lundi et mardi.

Figure 65. Puissance moyenne appelée jour/nuit pour mercredi et jeudi.



s'en convaincre il s'agit de calculer les consommations théoriques par m<sup>3</sup> et par °C à partir du B/R du mercredi-jeudi, la capacité thermique ayant alors été reconstituée. En admettant que l'arrêt des ventilations réduit de 0,3 à 0,07 le poids de la ventilation dans le B/R, on obtient des consommations théoriques en base 18 de  $(1,03 - 0,23) \times 1 \times 63$ , soit 50,4 Wh/m<sup>3</sup>.°C, qui sont largement supérieures aux 7,7 trouvés avec l'optimisation. Par contre

le même calcul mené sur les consommations de nuit conduit à des consommations théoriques de  $(1,03 - 0,23) \times 1 \times 30 = 24$ , chiffre très proche des consommations réelles : 26,5 pour le lundi et 23,6 pour le mercredi. La modulation du chauffage semble donc présenter peu d'intérêt pendant la semaine. Nous reviendrons sur ce problème à la lumière de l'examen du comportement de l'installation que nous allons effectuer à présent.

(1) C.F.P. n° 460. Juin 1985, § 4.7.3 page 60.  
 (2) C.F.P. n° 458. Avril 1985, § 4.4.4 page 75.

En chauffage de bureaux, le grand jeu

Tableau 12. Synthèse des puissances moyennes et des consommations par période.

Période	B/R (W/m <sup>3</sup> .°C)	T <sub>ncr</sub> (°C)	I (base 18)	B/R x I (W/m <sup>3</sup> .°C)	durée de la période (heures)	Consommations (Wh/m <sup>3</sup> .°C)	[%]	
Week-end	0,18	14,6	0,68	0,12	63	7,7	6,4	
Lundi-mardi	Jour	1,08	21,0	1,29	1,39	18	25,1	20,6
	Nuit	1,40	14,0	0,63	0,88	30	26,5	21,9
Mercredi-jeudi (et vendredi jour)	Jour	1,03	21,0	1,29	1,33	27	35,9	29,7
	Nuit	1,25	14,0	0,63	0,79	30	23,6	19,5
Hebdomadaire	0,99	15,1	0,73	0,72	168	121,4	100	

4.8.3) Le suivi de l'installation.

Optimiser le chauffage d'un immeuble c'est simple en théorie, mais nous avons vécu la réalité pendant une saison de chauffage sur l'immeuble de la **Mutualité agricole d'Evreux** et cette expérience montre que la mise au point de l'installation nécessite de suivre en permanence de nombreux paramètres. Les progrès réalisés dans les matériels de régulation sont appréciables mais ne permettent pas de se lancer dans l'optimisation du chauffage d'une installation sans disposer en parallèle d'un système d'acquisition et de traitement de données au moins pendant la première saison de chauffage.

Tableau 13. Figures présentées sur le suivi du double flux à Evreux :

N° de figure	Mesures présentées	Caractéristiques principales	Caractéristiques secondaires
66	Températures intérieures — bureau Sud-Ouest — bureau Nord-Est Températures extérieures	— semaine pas ensoleillée — chute de température le week-end.	— l'auto-adaptation — l'optimisation les jours de semaine — la relance de mise hors gel le week-end
67	Températures intérieures — bureau Sud-Ouest — bureau Nord-Est Températures extérieures	— semaine ensoleillée — l'effet de l'ensoleillement	— optimisation les jours de semaine
68	Températures intérieures — bureau Sud-Ouest — bureau Nord-Est Températures extérieures	— semaine très ensoleillée — l'évolution des températures intérieures sans chauffage	— l'incidence de l'occupation des locaux (ouverture des fenêtres)
69	Températures d'air extrait avant et après le récupérateur	— l'évolution de la température intérieure moyenne	— le taux de récupération
70	Température d'air extrait et insufflé	— la gestion de l'air avec la surchauffe à la relance du chauffage	
71	Température de départ du circuit de chauffage	— l'optimisation du chauffage	— la régulation de la température de l'eau en fonction de la température extérieure
72	La puissance appelée en chauffage	— l'optimisation du chauffage — la puissance appelée hors occupation — la relance du chauffage	— la surpuissance de l'installation

Le **tableau 13** regroupe les figures obtenues à partir de l'acquisition de données effectuée toutes les cinq minutes de décembre 1983 à juin 1984. Il a fallu se limiter à 7 figures pour la présentation de cette installation mais pour un examen détaillé en fonction des différents réglages, des températures extérieures, de l'ensoleillement et surtout pour examiner les périodes de défauts, il serait nécessaire de prendre en compte au moins une cinquantaine de figures équivalentes à celles présentées ci-après.

Les **figures 66 à 68** représentent l'évolution de la température intérieure dans deux bureaux témoins orientés différemment. L'installation comporte deux zones régulées indépendamment, mais la forme du bâtiment n'a pas permis de réaliser une intégration efficace de l'ensoleillement dans les lois de régulation. La **figure 66** correspond à une semaine sans ensoleillement, les températures extérieures sont voisines de 0 °C le week-end et on note que la température intérieure est descendue en dessous de 15 °C. Ceci a provoqué le déclenchement de la mise hors gel dès le dimanche après-midi. La relance du chauffage intervient à partir de minuit et ne permet pas d'atteindre la température de confort à l'heure d'occupation. L'auto-adaptation de l'optimisation corrige donc la loi de relance et le lendemain la relance du chauffage intervient dès 20 heures. Les autres jours de la semaine, l'heure de relance est encore ajustée en fonction des résultats obtenus les jours précédents. L'auto-adaptation de la relance du chauffage constitue un progrès dans les systèmes proposés sur le marché. Cependant on regrettera qu'elle ne différencie pas les relances après week-end des relances de semaine. Systématiquement nous avons eu des difficultés pour atteindre la température de confort le lundi matin et cette situation a conduit à des relances anticipées les jours de semaine. Cette anticipation qui n'était pas nécessaire compte tenu de la faible durée de l'arrêt du chauffage a réduit

En chauffage de bureaux, le grand jeu

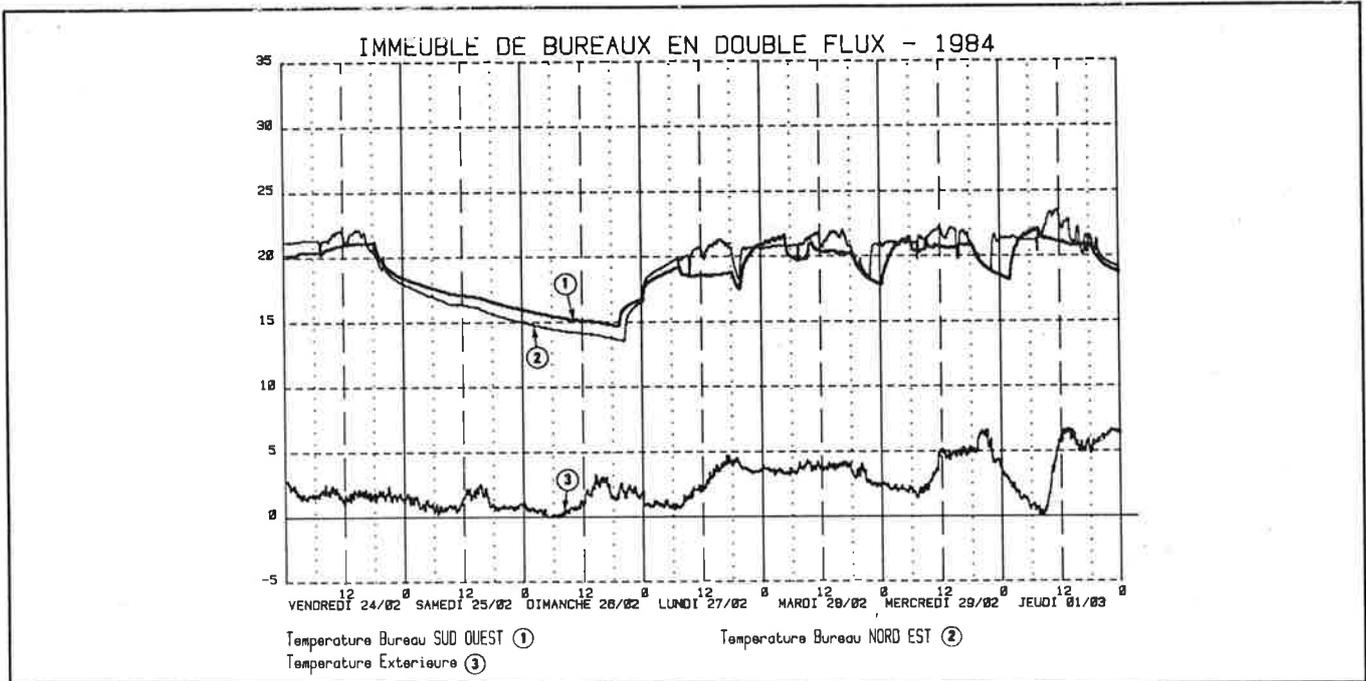
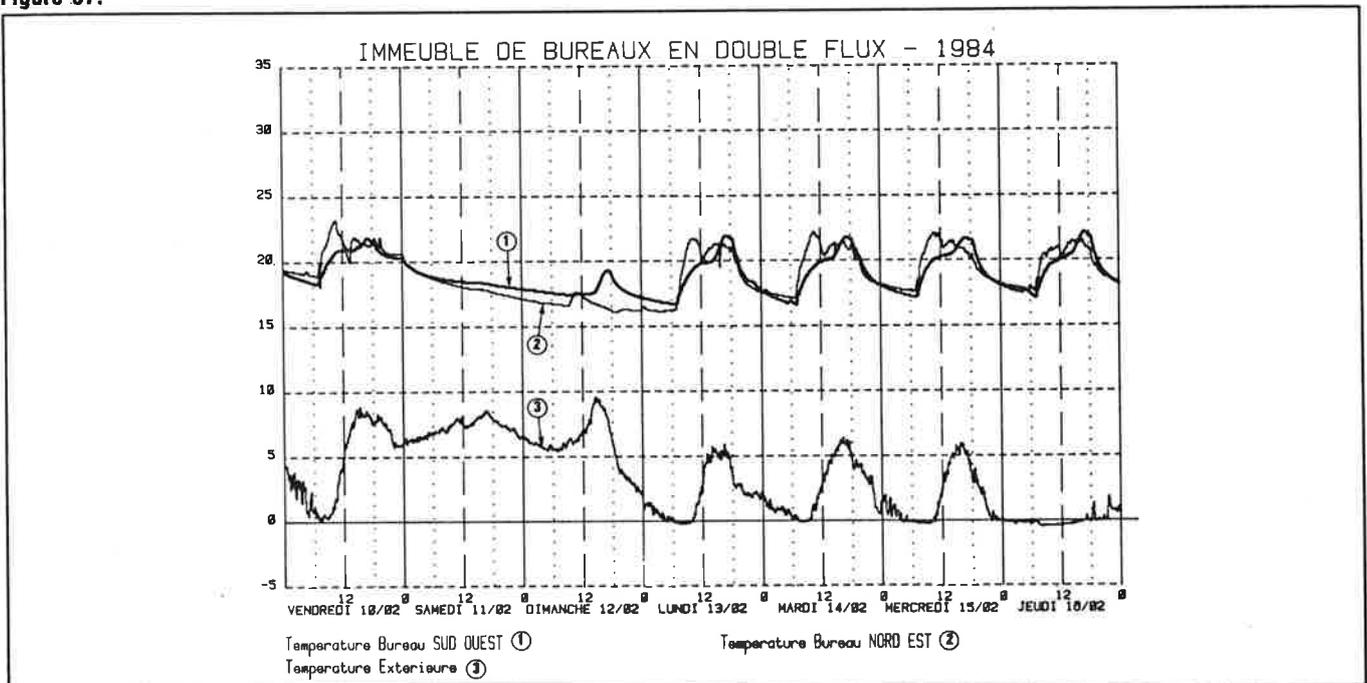


Figure 66.

Figure 67.



l'incidence de l'optimisation sur les consommations pendant la semaine. Une amélioration de l'auto-adaptation permettrait d'économiser encore environ 5% sur les consommations totales.

On notera par ailleurs les fluctuations de température dans les bureaux pendant la période d'occupation. Elles sont surprenantes dans la mesure où tous les radiateurs sont équipés de robinets thermostatiques. Il a été

vérifié que les robinets thermostatiques n'intervenaient qu'au-delà de 27°C.

La figure 67 correspond à une semaine ensoleillée. On note pour le week-end, l'effet de l'ensoleillement, le matin pour le bureau nord-est, le soir pour le bureau orienté sud-ouest. L'ensoleillement se retrouve chaque jour de la semaine avec cette action à des heures différentes en fonction de l'orientation. La différence d'allure entre les montées en

température n'est pas due à l'ensoleillement car elle se retrouve sur la figure précédente. Elle est due à un défaut d'équilibrage de l'installation qui pénalise le bureau orienté sud-ouest. On peut voir sur la figure 69 l'allure générale de la relance par le suivi de la température de l'air extrait. Le défaut d'équilibrage conduit à un retard de plus de deux heures sur la montée en température du bureau orienté sud-ouest ce qui peut conduire à des protestations des occupants.

En chauffage de bureaux, le grand jeu

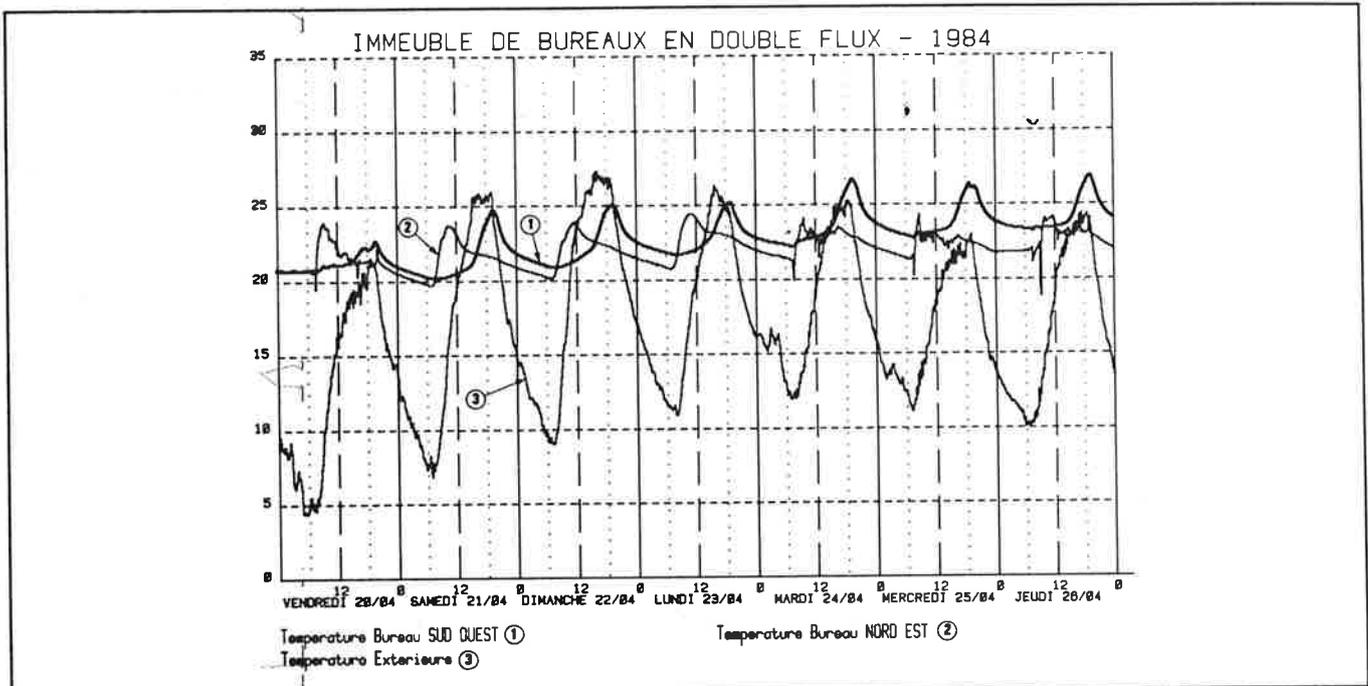
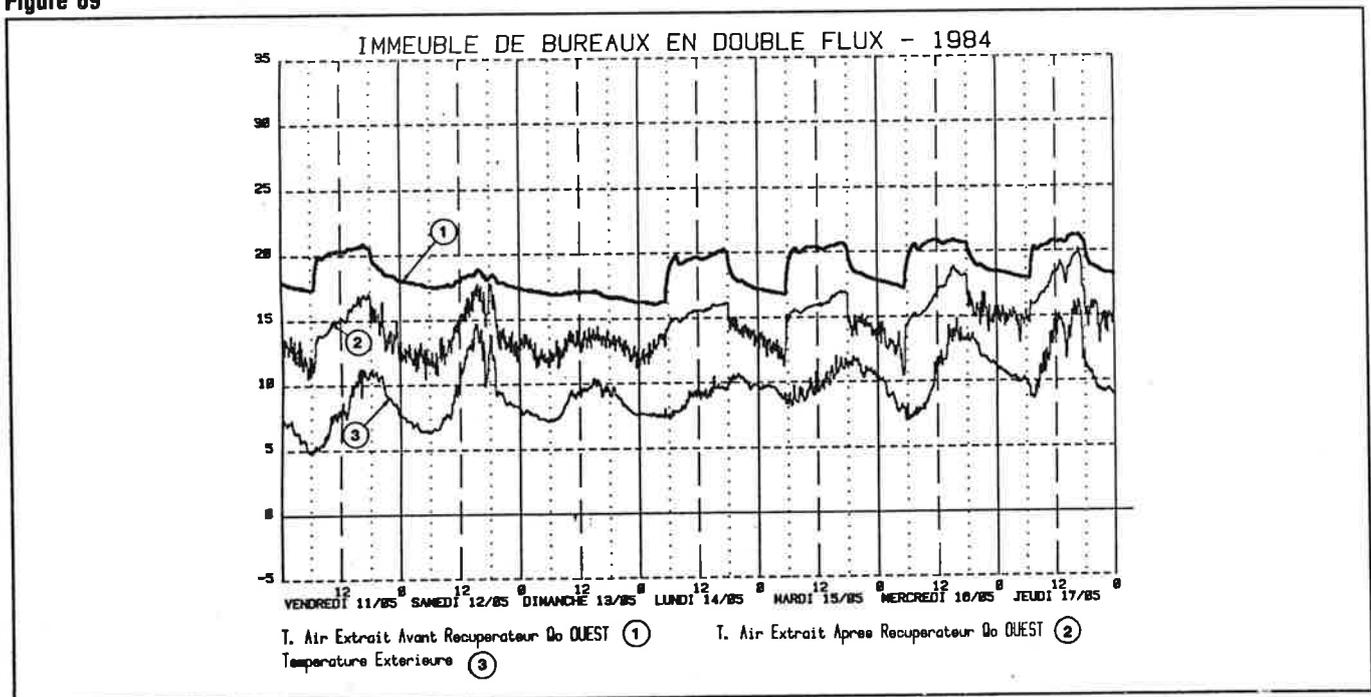


Figure 68

Figure 69



La figure 68 correspond à une semaine particulièrement ensoleillée mais avec de fortes fluctuations de température extérieure entre le jour et la nuit. Pendant cette période le chauffage n'a pas fonctionné et les bureaux sont restés à plus de 20 °C même le week-end alors que la température extérieure descendait la nuit en dessous de 10 °C. Il s'agit d'une situation assez exceptionnelle mais qui caractérise bien l'avantage de l'optimisation du chauffage par

rapport à la seule régulation. On note sur la figure l'effet de l'intervention des occupants qui ouvrent les fenêtres (sur le bureau nord-est) pour limiter la montée en température. Le lundi 23 avril est férié, c'est le lundi de Pâques. La figure 69 représente les variations de la température de l'air extrait avant et après récupération. Par rapport à la température de l'air extérieur, on peut apprécier le taux de récupération de l'échangeur entre l'air extrait et

l'air neuf: il est voisin de 60%. La sonde de température placée après le récupérateur est particulièrement sensible au fonctionnement de la ventilation mécanique: en dehors des périodes de fonctionnement on constate des fluctuations qui sont certainement dues à l'effet du vent. La température de l'air extrait est représentative de la température intérieure moyenne, même en dehors des périodes de fonctionnement de la ventilation mécanique à



En chauffage de bureaux, le grand jeu

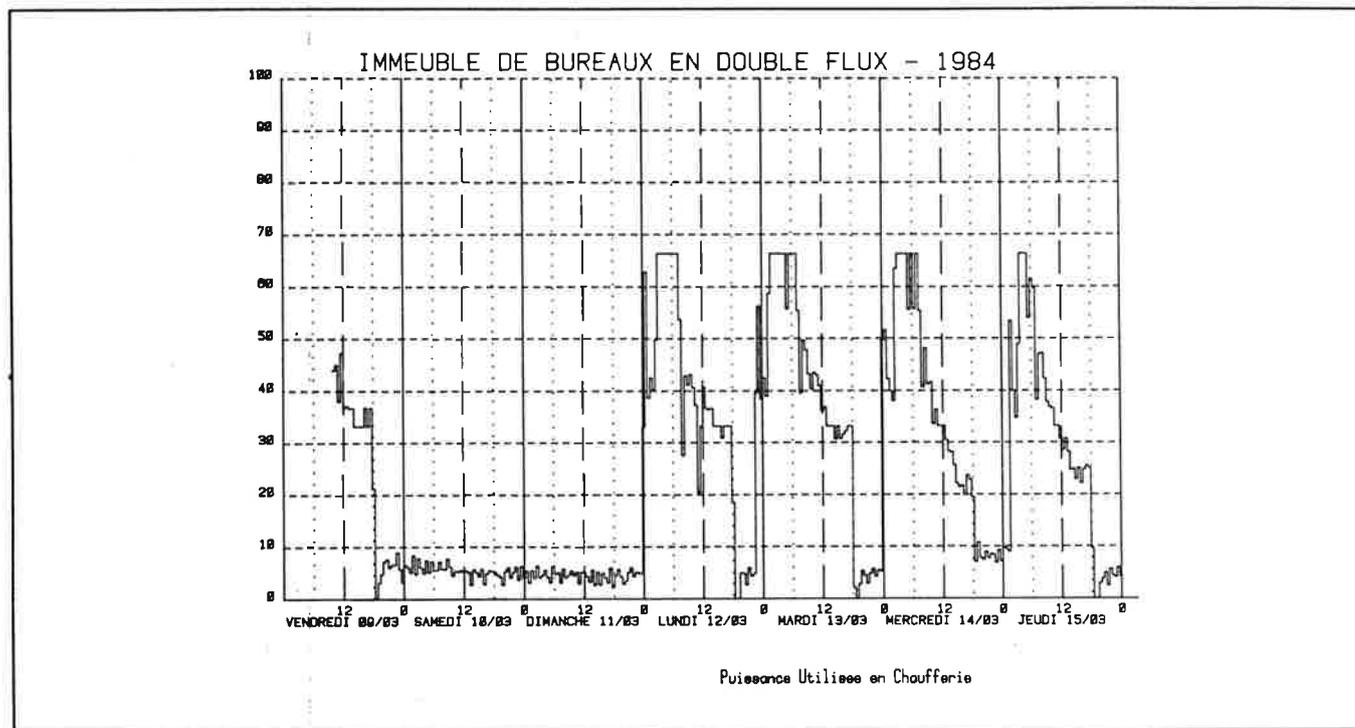


Figure 72

des gaines non isolées conduisait à insuffler de l'air à moins de 14 °C dans certains locaux par grand froid. Pendant les périodes d'arrêt du chauffage, les espaces en faux plafonds se refroidissent particulièrement lorsqu'ils sont situés sous terrasse. La relance du chauffage n'assure pas la montée en température de ces zones et laisse les gaines d'air froides. Si on relance la ventilation juste à l'occupation des locaux, le réchauffage des gaines peut conduire à insuffler de l'air froid dans certains locaux pendant plus d'une heure et provoque des protestations. La surchauffe de l'air a permis de régler ce problème mais l'installation n'est pas équipée de volets de recyclage. Cette surchauffe anticipée mais sans recyclage conduit à une augmentation des consommations d'énergie pendant la période de relance. Heureusement, on constate sur la **figure 70** que l'air extrait reste à la température des locaux et que la récupération de calories permet de limiter le surcoût lié à cette surchauffe.

La **figure 71** représente l'évolution des températures sur l'un des circuits de chauffage. On distingue trois périodes :

- l'arrêt du chauffage, en dehors des périodes d'occupation, avec une température d'eau inférieure à 30 °C. La vanne trois voies est fermée et le circulateur arrêté (sauf si la température extérieure descend en dessous de 3 °C) ;

- le chauffage normal pendant les périodes d'occupation des locaux, de 8 heures à 17 heures (avec l'anticipation, l'arrêt du chauffage intervient dès 16 heures). La température

d'eau évolue en fonction de la température extérieure suivant la loi de régulation ;

- la relance du chauffage avec des températures d'eau supérieures à la température normale. La phase de relance se termine dès que la température de confort est atteinte dans les locaux. L'heure de démarrage de la relance est gérée par la loi d'optimisation et par l'auto-adaptation.

La **figure 72** représente l'évolution de la puissance appelée en chaufferie. Cette puissance est exprimée en % de la puissance installée et la valeur retenue est la moyenne sur une demi-heure. On remarque la puissance qui reste appelée même en dehors des périodes d'occupation. Il s'agit des pertes d'entretien de l'installation ; de quelques circuits non optimisés tels que le chauffage des archives ou la préparation d'eau chaude sanitaire pour le restaurant d'entreprise. La puissance maximale appelée est de 66 % car la troisième chaudière reste isolée hydrauliquement en dehors des périodes de grand froid. On note que la puissance appelée suit la même évolution que la température d'eau du circuit de chauffage (voir **figure 71**) car la puissance des circuits de radiateurs est prépondérante. L'allure des courbes de puissance appelée correspond à une période où la température extérieure moyenne est d'environ 6 °C. On comprendra que sans surpuissance excessive, le taux d'utilisation moyen de la puissance installée soit environ de 22 % sur la saison de chauffage.

Nous n'avons pas présenté les courbes de rendement de chaudière parce qu'à l'évidence

une chaudière à condensation dont le condenseur est irrigué à environ 20 °C fonctionne avec un rendement exceptionnel.

#### 4.8.4 Bilans thermique et financier

La conception et la mise au point de cette installation à partir de 1980 ont représenté pour chacun des participants un nombre considérable d'heures de travail. La présentation du suivi de l'installation peut laisser planer une certaine amertume compte tenu soit des écarts entre les résultats escomptés et la réalité, soit du nombre d'aménagements qu'il a fallu opérer après la mise en service. Ceux qui ont vécu des réalisations en technique de pointe savent toute la difficulté qu'il y a dans le passage du laboratoire à la réalité. L'installation de la Mutualité agricole d'Evreux, c'est la réalité, et l'ambition de chacun des participants est de faire connaître les problèmes que l'on peut facilement éviter à condition d'en avoir soupçonné la présence. Les résultats thermiques et financiers qui ont été obtenus sur cette installation peuvent encore être améliorés sur d'autres du même type et pourtant ils sont déjà excellents.

Le **tableau 14** donne le détail des économies escomptées et réalisées dans une progression des améliorations techniques prenant en compte les interactions. La base de calcul est l'installation chauffée et ventilée en continu avec un rendement d'exploitation de chaufferie de 80 % sur PCS.

## En chauffage de bureaux, le grand jeu

**Tableau 14: Répartition des consommations d'énergie et des économies en kWh PCS/m<sup>2</sup>.an**

	Répartition des consommations						
	Déperditions aux parois		Pertes par renouvellement d'air		Pertes en chaufferie		
Situation de base : chauffage et ventilation en continu	211		90		76		
	Amélioration						
Techniques utilisées	escomptée	réelle	escomptée	réelle	escomptée	réelle	
<b>Sur la ventilation</b>							
— cas du simple flux			- 30	} - 45	- 9	- 9	
— avec double flux			- 15				
— récupération sur l'air			- 27		- 21	- 3	- 3
<b>Sur le chauffage</b>							
— simple ralenti	- 21	} - 66			- 3	} - 9	
— optimisation	- 63				- 9		
<b>— Arrêt chaufferie et gestion de la puissance</b>					- 18	- 6	
<b>— Robinets thermostatiques</b>	- 30	- 15					
<b>— Intégration de l'ensoleillement</b>							
<b>— Chaudières à condensation</b>	- 24	- 15					
<b>Consommations totales</b>	75	115	18	24	4	19	

**Tableau 15. Bilan financier**

Techniques	Coût d'installation (F HT/m <sup>2</sup> )	Économie d'exploitation (F HT/m <sup>2</sup> )	Temps de retour brut (années)
Simple flux	75	6,6	11,4
Régulation avec ralenti	4	4,4	0,9
Robinets thermostatiques	11	3,3	3,3
<b>Double-flux</b> (par rapport au simple flux)	62	3,3 + *	} <8,2
Récupération sur l'air	11	4,4	
<b>Optimisation **</b> + arrêt chaufferie + Intégration de l'ensoleillement	22 **	9,4 +1,1 +3,3 *	} 1,6
<b>Condensation</b> (par rapport au classique)	9	4,4 *	2,0
<b>Total</b>	104	25,9	4,0

\* Techniques et économies non indépendantes

\*\* Ce prix intègre les liaisons électriques qui interviennent pour environ la moitié. L'optimiseur fait également office de système d'acquisition de données.

L'incidence des ventilations mécaniques est essentiellement due à la maîtrise de la réduction du renouvellement d'air en dehors des périodes d'occupation. Pour le chauffage, on peut distinguer un simple ralenti d'une optimisation avec arrêt et relance du chauffage. La dernière catégorie concerne des postes divers tels que l'arrêt complet de la chaufferie en dehors des périodes d'occupation (la fonction peut être gérée par l'optimiseur), l'action des robinets thermostatiques (intégration des apports internes ou externes), l'intégration de l'ensoleillement (grâce au transfert de calories que peut effectuer le double flux). Les chaudières à condensation n'interviennent qu'en dernière opération et leur incidence sur le bilan est fonction de la source froide utilisée (le préchauffage d'air grâce à la présence du double flux) et à la gestion de la puissance en chaufferie à cause de leur incidence sur les pertes à l'arrêt. Les postes estimés sont l'action des robinets thermostatiques et l'intégration de l'ensoleillement car les modifications intervenues sur l'installation ne nous ont pas permis d'effectuer des comparaisons précises entre des périodes plus ou moins ensoleillées. Le bilan global s'établit à 125 pour la solution de base et le résultat obtenu sur la saison de chauffage 1983/1984 est de 52 pour un résultat escompté de 31 lors de la conception de l'installation.

Exprimés en kWh/m<sup>2</sup> pour une saison de chauffage de 2730 Dju, les résultats sont :

- ▷ solution de base : 377 kWh/m<sup>2</sup> soit 69,2 F/m<sup>2</sup>
- ▷ obtenu : 158 kWh/m<sup>2</sup> soit 29,0 F/m<sup>2</sup>
- ▷ escompté : 97 kWh/m<sup>2</sup> soit 17,9 F/m<sup>2</sup>.

Le coût en énergie est calculé hors taxe au tarif B21 pour le Niveau 1 au 1<sup>er</sup> janvier 1985 (0,1832 F/kWh) et en intégrant la prime fixe.

A partir de la décomposition des différents postes techniques du **tableau 14**, on peut établir une distinction entre les techniques qui sont classiques telles que le simple flux, la régulation avec ralenti, les robinets thermostatiques et celles qui représentent une innovation à l'époque de la conception de l'installation. Le **tableau 15** reprend cette distinction pour établir un comparatif entre les coûts d'installation et les économies d'exploitation. Les coûts d'installation de 1980 ont été actualisés à janvier 1985 pour être homogènes avec le prix de l'énergie retenu.

Le temps de retour brut du double flux par rapport à un simple flux est inférieur à 8,2 ans. En effet l'intégration de l'ensoleillement et la condensation sont améliorées grâce à la présence du double flux ce qui réduit encore le temps de retour de cet investissement. Globalement les techniques performantes retenues conduisent à un temps de retour brut de 4 ans. Ce bilan est établi à partir des consommations réelles de la saison de chauffage 1983/1984.

### *En chauffage de bureaux, le grand jeu*

L'expérience de cette première année a permis de réduire les consommations de 15 % en 1984/1985 et d'autres interventions devraient conduire à d'autres économies (réglage des robinets thermostatiques, modification de la loi d'optimisation, affinage de la loi d'intégration de l'ensoleillement). Dans deux ans, le bilan réel devrait être très proche du bilan escompté. Quatre années pour affiner l'exploitation d'une

installation, cela peut sembler beaucoup. On se souviendra qu'il s'agit d'un immeuble de bureaux et que la sensibilité des occupants nécessite des actions progressives corrigées en fonction de leurs réactions. La mise en service prochaine d'une télésurveillance devrait permettre une exploitation encore plus fine de cette installation. 100 kWh/m<sup>2</sup>.an, c'est aujourd'hui à notre portée

dans les immeubles de bureaux. Les techniques existent, le seul problème c'est leur exploitation qui nécessite un matériel de surveillance adapté et une grande disponibilité les premières années. Avec ces techniques performantes, la pire des choses, c'est de ne pas avoir de contrat d'exploitation dès la mise en service de l'installation. Le laxisme conduit rapidement à des résultats décevants. □