

VALIDATION D'UN TELEREGULATEUR ADAPTE AU CHAUFFAGE INTERMITTENT

Gilles FRAISSE¹, Joseph VIRGONE²
avec la collaboration de la société WIT³ et d'Innovegaz⁴

¹ Laboratoire Génie Civil et Habitat (LGCH). Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry (ESIGEC), Campus Scientifique Savoie Technolac, 73376 Le Bourget du Lac Cedex - Tel. 04.79.75.88.95 - Fax : 04.79.75.81.12 - Email : fraisse@univ-savoie.fr

² Centre de Thermique de Lyon (CETHIL). Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Equipe Thermique du Bâtiment, UPRES A CNRS 5008, Bât. 307, 20 avenue A. Einstein, 69621 VILLEURBANNE - Tel. : 04.72.43.87.77 - Fax : 04.72.43.85.22 - Email : virgone@insa-cethyl-etb.insa-lyon.fr

³ Georges DUFFAU, Jean-François TRAP. Home II, Av. Léon Bérenger, 06700 SAINT-LAURENT-DU-VAR - Tel. : 04.93.19.37.37 - Fax : 04.93.07.60.40

⁴ Bernard GENEST. Présence Rhône-Alpes, 15, rue de Sévigné, 69426 LYON Cedex 03. - Tel. : 04.78.95.29.90 - Fax : 04.72.61.16.17

Résumé

Cette communication présente les résultats du suivi expérimental d'un programmeur d'intermittence du chauffage développé dans le cadre d'une collaboration entre, d'une part les laboratoires CETHIL (INSA de Lyon) et LGCH (ESIGEC à Chambéry), et d'autre part la société WIT (St Laurent du Var).

Ce programmeur d'intermittence, de niveau 5, est tout particulièrement adapté à la pratique d'une forte intermittence. La loi de chauffe tient compte, en plus de la température extérieure (courbe de chauffe classique), d'une estimation de la température de structure. La température de départ est ajustée en fonction de l'écart constaté entre la température intérieure et la consigne (prise en compte des apports gratuits). La loi de relance, basée sur les températures intérieure et extérieure, est définie 'précisément' grâce à la logique floue [ZAD65] [JAG95]. Un mécanisme d'auto apprentissage ajuste la loi à la fin de chaque relance.

Le régulateur proposé bénéficie des avantages de la télégestion : paramétrage et suivi graphique des températures et consommations à distance. Le fonctionnement de l'installation de chauffage peut être contrôlé en temps réel ou différé : régulation de la température de départ du circuit de distribution, suivi des durées de relance du chauffage ... Autant de vérifications importantes qu'un régulateur classique permet rarement de faire.

P.S. Cette étude a reçu l'aide financière de la Région PACA, de l'ADEME régionale Rhône-Alpes et de Gaz de France.

1. Introduction

Le télérégulateur proposé est destiné aux bâtiments tertiaires à occupation discontinue : bâtiments scolaires et bureaux. La volonté de proposer un produit viable d'un point de vue commercial nous a conduit à considérer comme indispensables certaines caractéristiques du télérégulateur :

- **simplicité d'utilisation** : paramétrage des lois de chauffe et de relance réalisable par un 'non-spécialiste'. Nous avons introduit les possibilités d'auto-apprentissage et d'ajustement, avec le soucis de ne pas compromettre la fiabilité du télérégulateur (**robustesse**).
- **performances** : les lois de chauffe et de relance doivent être adaptées à la pratique d'une forte intermittence, synonyme d'économies d'énergie [FRA97].

Notre télérégulateur apporte une réponse aux insuffisances des régulateurs classiques :

- ✓ courbe de chauffe non adaptée à l'intermittence puisque les besoins du bâtiment sont déterminés en régime permanent [FAB95]

P nous considérons en plus la température de structure du bâtiment

- ✓ loi de relance réglementaire [DUT91] parfois non adaptée à la pratique d'une forte intermittence. C'est le cas de la relance en fonction de la température extérieure ou à heure fixe [FRA99].

P calcul de la durée de relance en fonction des températures intérieure et extérieure basé sur la logique floue

- ✓ absence de suivi des températures intérieures (notamment en période d'inoccupation) : aucune possibilité de vérifier le bon fonctionnement du régulateur.

P télégestion : paramétrage du télérégulateur et contrôle à distance de l'installation (suivi graphique des températures et consommations) en temps réel ou différé.

2. Principe de fonctionnement du télérégulateur

2.1. rappels sur l'intermittence [CYS95] [VIS88]

Une grande partie des locaux du secteur tertiaire n'est utilisée qu'une dizaine d'heures par jour. Par ailleurs, si l'on tient compte des jours fériés, des week-end et des vacances, le taux d'occupation ne dépasse pas 30 %. Il est donc possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en chauffant uniquement lorsque c'est nécessaire.

Un programmeur d'intermittence permet d'abaisser la température intérieure en période d'inoccupation tout en maintenant la consigne désirée pendant la période d'occupation. La figure 1 représente les différentes allures du chauffage au cours du temps : l'allure normale (température de consigne haute T_{ch}), l'arrêt du chauffage dès la fin de la période d'occupation (t_{inoc}), éventuellement l'allure réduite (température de consigne basse T_{cb}) afin d'éviter les risques de condensation ou de gel et la relance à puissance maximale.

Les performances du régulateur sont liées à l'aptitude à réguler la température intérieure pendant la période d'occupation et à optimiser l'heure de relance du chauffage à puissance maximale, de façon à atteindre le niveau de confort à l'heure désirée (t_{oc}). L'optimisation permet d'effectuer la relance du chauffage le plus tard possible. Pour cela, le régulateur estime à chaque pas de temps au cours de la période d'inoccupation la durée de relance Dur correspondant au temps nécessaire pour atteindre la consigne haute. La relance à puissance maximale est effectuée lorsque la valeur de Dur est égale à la durée jusqu'à la période d'occupation suivante. La précision de la relance est liée à l'écart entre la dernière valeur calculée avant la relance et la durée réelle $Durr$ constatée a posteriori.

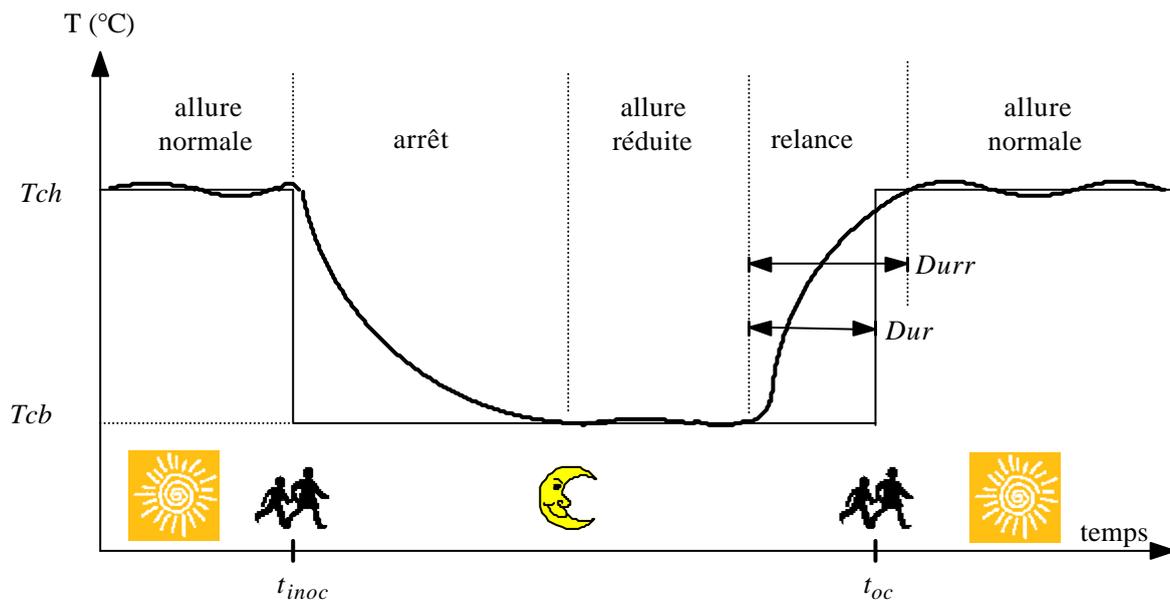


figure 1 : enchaînement des différentes allures du chauffage

2.2. présentation du télérégulateur

Les principales caractéristiques du télérégulateur sont :

- **niveau 5 d'intermittence** : enchaînement des allures de chauffage normal-arrêt-réduit-relance, ajustement de la loi de chauffe en fonction de la température intérieure et apprentissage automatique de la loi de relance.
- loi de relance basée sur la **logique floue** [ZAD65].
- loi de chauffe tenant compte de la **température de structure**, tout en conservant le principe de la courbe de chauffe classique.
- loi de chauffe relative à l'allure réduite calculée automatiquement à partir de la consigne basse T_{cb}
- **télégestion** grâce à son modem V22bis intégré. Le paramétrage du télérégulateur s'effectue soit par minitel, soit avec un ordinateur équipé du logiciel CLIPTOOL. Ce logiciel est disponible gratuitement sur le site WEB de la société WIT (<http://www.wit.fr>). Il permet de suivre graphiquement les températures et consommations en temps réel ou différé (figure 2).
- planning d'occupation déterminé sur une année complète
- possibilité de gérer plusieurs boucles de régulation sur le même système
- outre la régulation, le télérégulateur peut réaliser de nombreuses tâches : calcul de moyennes de températures pondérées par les volumes, diffusion des alarmes à distance...

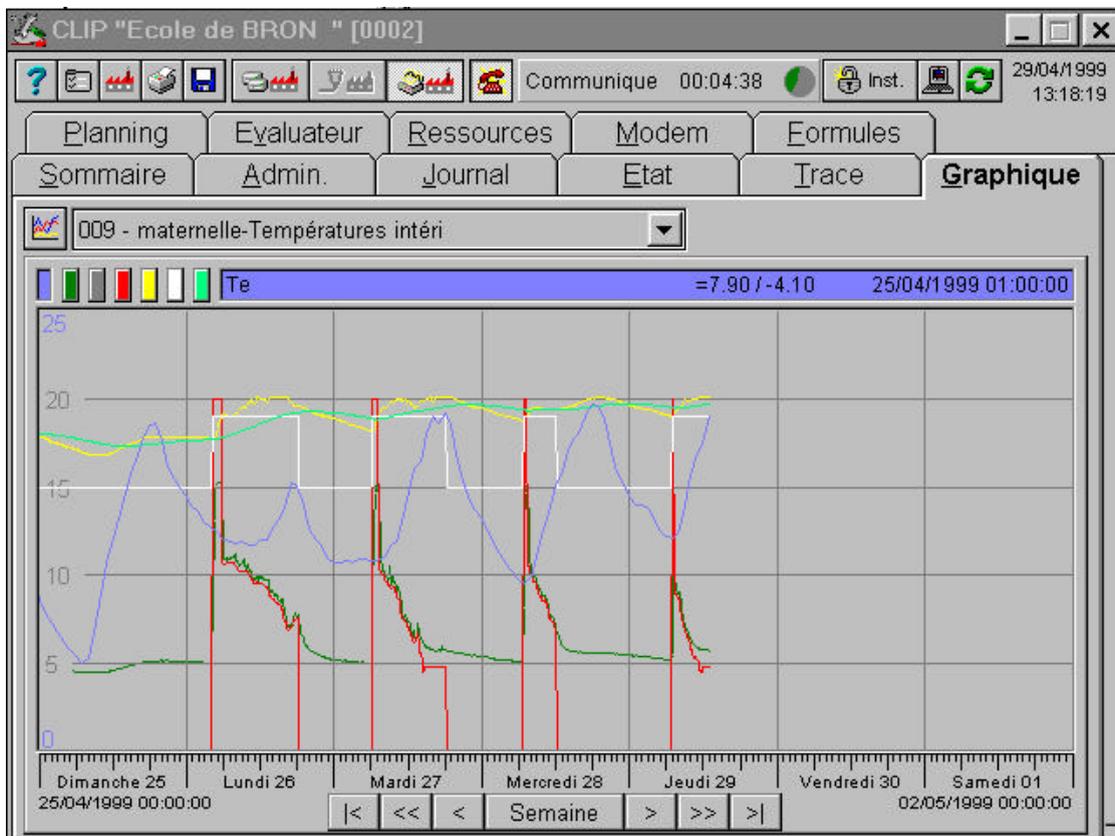


figure 2 : paramétrage et suivi graphique des températures

Les températures nécessaires au fonctionnement du télérégulateur sont la température extérieure T_e , la température de départ T_d et la température intérieure T_i de référence qui est obtenue à partir d'une ou plusieurs températures (figure 3).

La régulation de la température de départ du circuit de distribution est également assurée par le télérégulateur. Celui-ci agit sur l'ouverture de la V3V (régulation PI) ou vanne analogique, de façon à obtenir une température de départ T_d égale à la consigne désirée $T_{d_{cons}}$. Cette régulation est primordiale car elle conditionne le bon déroulement des différentes allures du chauffage : relance, normal, arrêt et réduit.

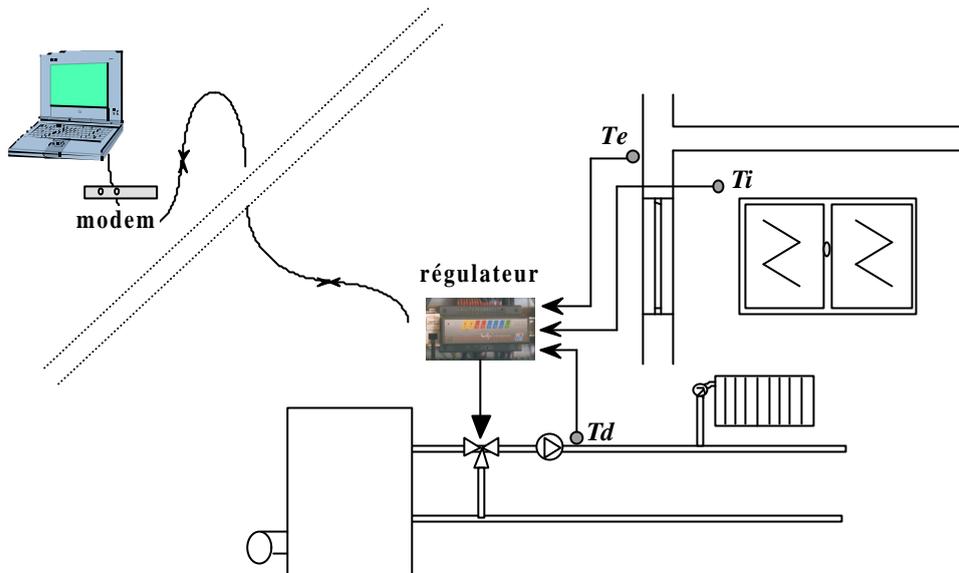


figure 3 : raccordement du télérégulateur au système de chauffage

2.3. la loi de chauffe

En régime intermittent, la température de structure T_s diminue pendant la phase d'arrêt du chauffage. Aussi, les besoins sont supérieurs en période d'occupation, pour une même température extérieure, lorsque le bâtiment est 'froid'. La loi de chauffe proposée tient compte, en plus de la sollicitation T_e , de la variable T_s . La loi de chauffe surfacique est définie à l'aide de deux points (figure 4):

1^{er} point : { $Td_{cons} = ZUA$; $T_e = T_{e_{min}} (-10\text{ °C})$; $T_s = Tch$ } **P** **courbe de chauffe classique**

2^{ème} point : { $Td_{cons} = ZUB$; $T_e = T_{e_{min}} (-10\text{ °C})$; $T_s = T_{i_{min}} (5\text{ °C})$ }

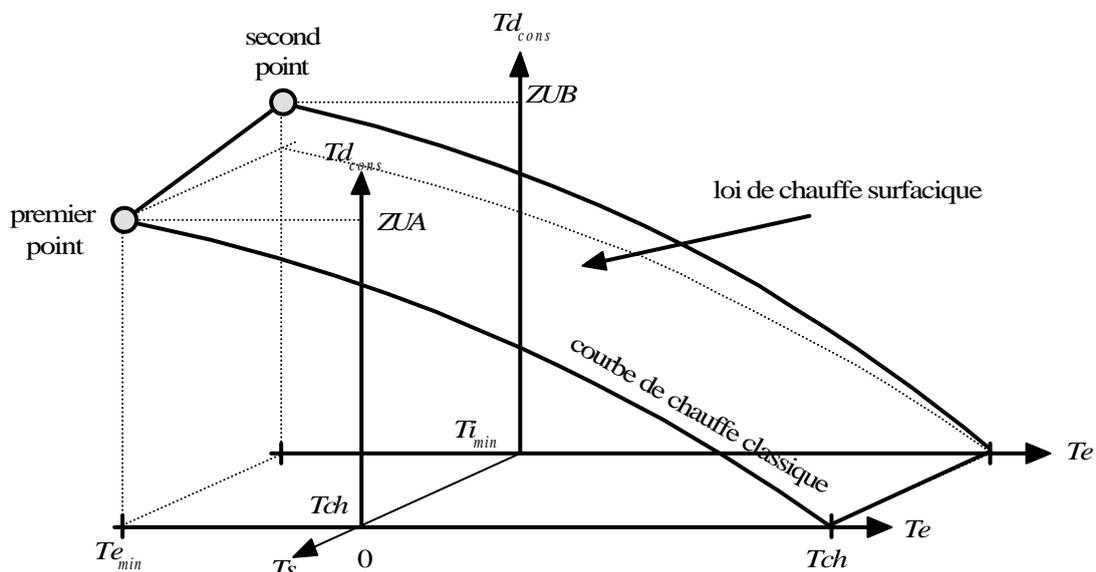


figure 4 : loi de chauffe surfacique proposée ($T_{cons} = Tch$)

La loi de chauffe proposée s'écrit sous la forme :

$$Td_{cons} = T_{cons} + \left[\left((ZUB - T_{cons})^n - (ZUA - T_{cons})^n \right) \cdot \frac{T_{cons} - Ts}{T_{cons} - Ti_{min}} + (ZUA - T_{cons})^n \cdot \frac{T_{cons} - Te}{T_{cons} - Te_{min}} \right]^{\frac{1}{n}}$$

avec : Td_{cons} température de départ de consigne déterminée par la loi de chauffe
 T_{cons} température intérieure de consigne (Tch ou Tcb)
 Te température extérieure
 Ts température de structure évaluée à partir de la température intérieure
 ZUA température de départ lorsque $Te = Te_{min}$ \Rightarrow courbe classique
 ZUB température de départ lorsque $Te = Te_{min}$ et $Ts = Ti_{min}$ \Rightarrow bâtiment 'froid'
 n exposant de la loi d'émission des émetteurs ($n=1.3$ pour les radiateurs)

Afin de simplifier le paramétrage du télérégulateur, nous avons retenu pour le second point une valeur forfaitaire de $ZUB = ZUA + 30$ °C sur les deux sites étudiés. En toute rigueur, la valeur de ZUB augmente avec l'inertie du bâtiment. De plus, $ZUB > ZUA$ et lorsque $ZUB = ZUA$, on retrouve la courbe de chauffe classique :

$$Td_{cons} = T_{cons} + (ZUA - T_{cons}) \cdot \left(\frac{Tch - Te}{Tch - Te_{min}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Compte tenu du pas de temps du télérégulateur (0.25 h), la température de structure Ts est évaluée, à partir de la température intérieure, par la relation :

$$Ts = 0.975 (Ts^0 - Ti) + Ti$$

avec : Ts^0 température de structure au pas de temps précédent

Afin de tenir compte des charges internes et des apports solaires ... et d'une définition non parfaite de la loi de chauffe, la valeur de Td_{cons} est ajustée selon l'écart entre la température intérieure Ti et la consigne désirée T_{cons} (Tch ou Tcb) :

En résumé, compte tenu des hypothèses précédentes ($n= 1.3$ et $ZUB=ZUA+30$ °C), les paramètres que l'utilisateur doit indiquer sont :

tableau 1 : les paramètres 'utilisateur' liés à la loi de chauffe

T° Confort	Température de consigne (Tch) en période d'occupation ≈ 19 °C
T° Réduit	Température de consigne (Tcb) en période d'inoccupation ≈ 5 °C ; 10 °C ; 15 °C
Classique (ZUA)	Courbe classique : température de départ lorsque $Te = -10$ °C ≈ 80 °C
T° Départ Max	Valeur maximale de Td

La possibilité de définir une température de départ maximale est importante, notamment lorsque l'émission de chaleur doit se faire à 'basse température' : sécurité des enfants présents dans les locaux ou émission de chaleur par plancher chauffant.

2.4. la loi de relance

La loi de relance est définie sous la forme d'un tableau (tableau 2) au sein duquel les durées de relance inscrites $Du(i,j)$ correspondent à différentes valeurs de Ti (colonnes) et Te (lignes). Les durées relatives aux autres valeurs de Ti et Te sont obtenues par interpolation des quatre valeurs les plus proches (logique floue [PES94]). Nous avons plus de valeurs sur le domaine de variation de Ti en raison de la meilleure corrélation, comparativement à Te , entre Ti et la durée de relance [FRA97].

tableau 2 : la loi de relance sous forme de tableau

	Ti_{min}	$Ti_{min} + \Delta T$	$Ti_{min} + 2 \cdot \Delta T$	$Ti_{min} + 3 \cdot \Delta T$	$Ti_{min} + 4 \cdot \Delta T$	Tch
Te_{min}	$Du(1,1)$	$Du(1,2)$	$Du(1,3)$	$Du(1,4)$	$Du(1,5)$	$Du(1,6)$
Tch	$Du(2,1)$	$Du(2,2)$	$Du(2,3)$	$Du(2,4)$	$Du(2,5)$	$Du(2,6)$

avec : $\Delta T = \frac{T_{ch} - T_{i_{min}}}{5}$

$T_{e_{min}}$: température extérieure minimale (-10 °C)

$T_{i_{min}}$: température intérieure minimale (5 °C)

La figure 5 montre la loi surfacique de relance avec les 12 valeurs $Du(i,j)$ représentées par les points. La durée de relance estimée augmente lorsque les températures intérieure et extérieure diminuent.

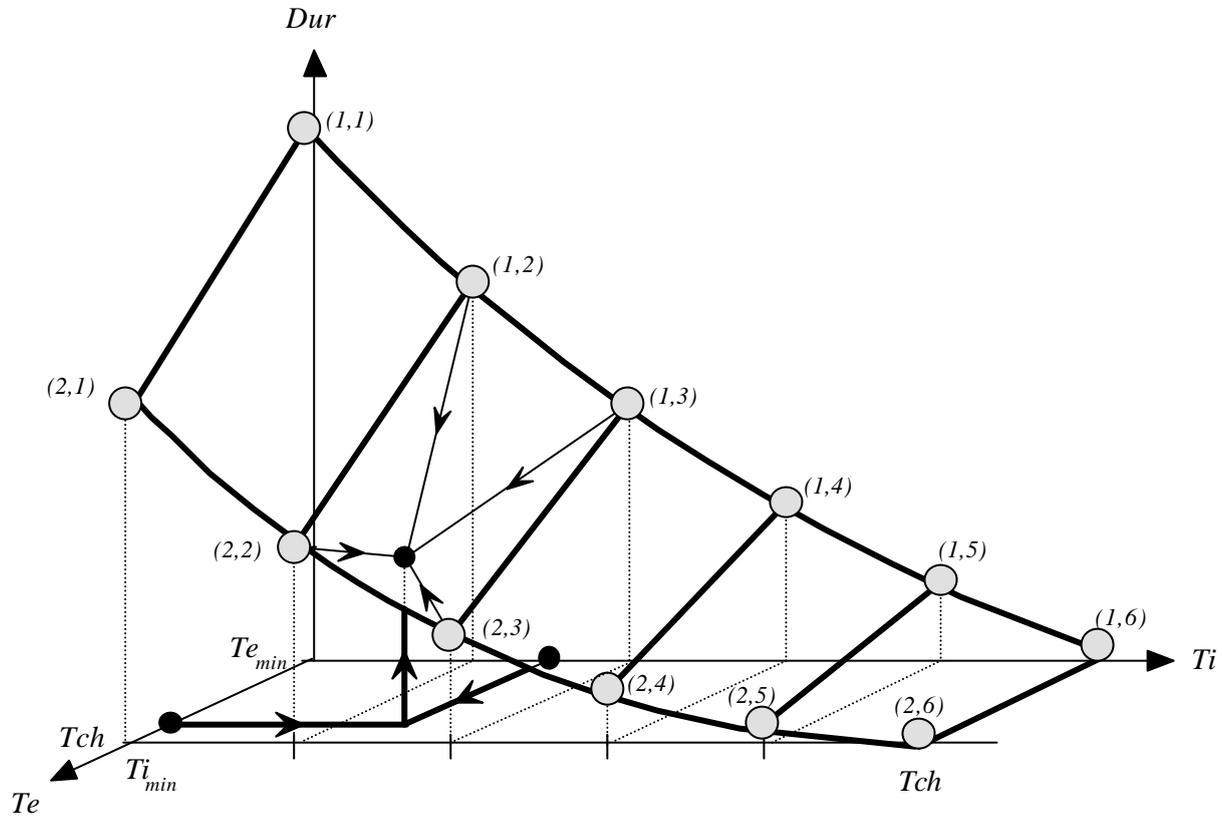


figure 5 : loi de relance en fonction des températures intérieure et extérieure

Les conclusions des règles floues (les valeurs $Du(i,j)$) sont modifiées de façon automatique (une modification manuelle est toujours possible), à la fin de chaque relance, grâce à un mécanisme d'apprentissage basé sur l'erreur entre Dur et $Durr$. Les températures intérieure et extérieure en début de relance sont alors respectivement $T_{i_{dr}}$ et $T_{e_{dr}}$. Il est possible de geler l'apprentissage lorsque la loi est jugée satisfaisante.

En résumé, le paramétrage de la loi de relance se limite aux possibilités de geler ou non l'apprentissage, et de modifier manuellement le tableau.

3. Présentation des deux sites

Ecole Maternelle Alsace-Lorraine, 9 place 11 Novembre 1918, 69500 BRON :

- * Bâtiment en rez-de chaussée sur vide sanitaire contenant 3 salles de classe, 3 salles d'exercices, 1 grande salle de jeux.
- * Surface de l'ordre de 350 m².
- * Hauteur sous faux plafond de 3m.
- * Bâtiment ancien datant de 1950 environ, rénové il y a quelques années.
- * Murs épais et inertes. Toiture tuiles. Grandes baies vitrées .
- * Chauffage par radiateurs, chaufferie contenant une chaudière au gaz.
- * Régulation précédente Landis et Gyr.

Collège Les Batières, 56 av. Eiseinhover, 69005 LYON :

- * Grand bâtiment contenant plusieurs ailes. Sur 2 étages.
- * Plusieurs circuits de départ du chauffage dont 2 ont été choisis pour installer notre régulation.
- * Chauffage par radiateurs.
- * 2 chaudières au gaz de 600kW chacune.
- * Régulation précédente : Staefa Control.

4. Les résultats

4.1. la régulation

Nous présentons sur les deux sites l'évolution des températures sur la période du 3 au 19 février 2000: la température intérieure T_i , la consigne T_{cons} (T_{ch} ou T_{cb}), la température de structure T_s , la température extérieure T_e et la température de départ du circuit de distribution T_d . Pour des raisons de lisibilité, l'axe relatif à T_d et T_e est situé à droite. Le fonctionnement du régulateur, depuis le début de la saison de chauffe, a permis de déterminer automatiquement la loi de relance.

Dans le cas de la maternelle, la figure 6 montre la bonne optimisation de l'heure de relance aussi bien le lundi matin après l'arrêt prolongé du week-end, que les autres jours de la semaine. La baisse de température du lundi matin [FAB95], le fameux syndrome du lundi matin, n'est pas observée grâce à la loi de chauffe qui ajuste la température de départ lorsque la température de structure T_s est faible. La température de consigne T_{cb} en période d'inoccupation a été fixée à 15°C en raison de la faible surpuissance de l'installation de chauffage. Une consigne plus faible (10°C) avait été retenue mais elle conduisait à des relances 'interminables'.

La figure 6 montre également les différentes allures du chauffage : relance à température maximale (limitée à 65 °C en raison de la présence de jeunes enfants), régulation en période d'occupation et arrêt complet du chauffage. L'ancien système de régulation effectuait un décalage de quelques degrés de la loi de chauffe en période d'inoccupation. De nombreux régulateurs fonctionnent ainsi car ils ne sont pas adaptés à l'intermittence (courbe de chauffe classique, loi de relance imprécise et absence de suivi notamment en période d'inoccupation). Aussi, les utilisateurs n'ont pas d'autre alternative que de limiter l'intermittence pour préserver le confort des occupants. Evidemment, cela ne va pas dans le sens des économies d'énergie.

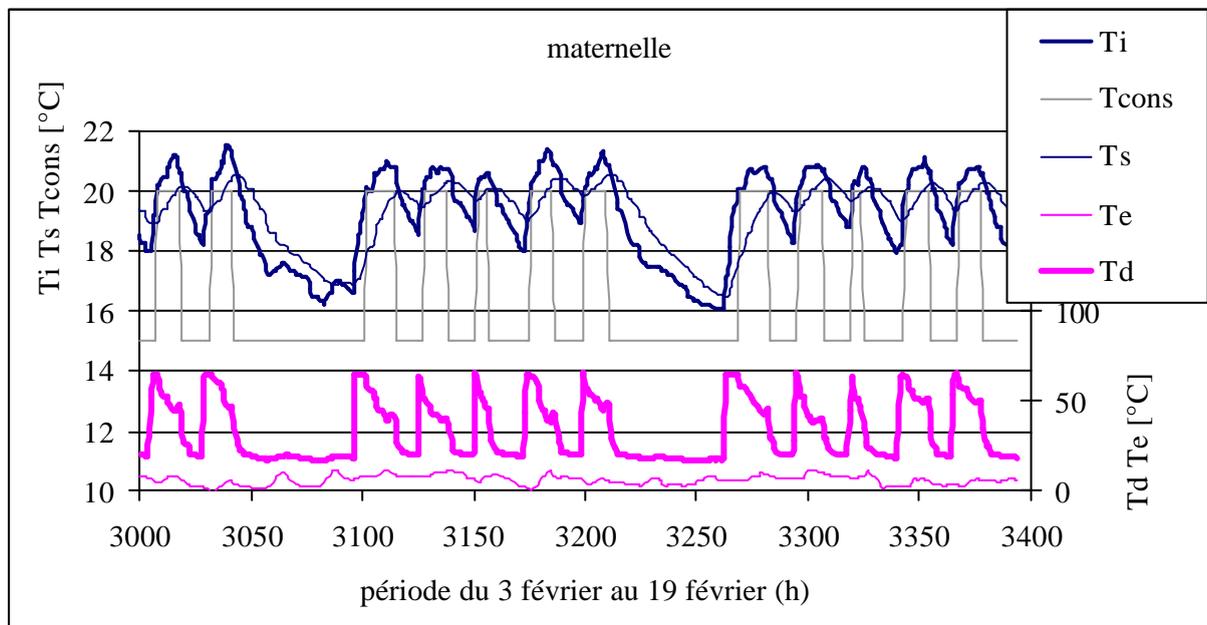


figure 6 : l'intermittence à la maternelle

Au collège, le télérégulateur gère deux circuits de distribution : nord (figure 7) et sud (figure 8). Le circuit nord présente un problème d'équilibrage puisque les durées de relance sont relativement importantes (l'apprentissage de la loi de relance peut alors conduire à une surévaluation des durées de relance en semaine). Par ailleurs,

certaines pièces du circuit nord (cuisines) comportent des aérothermes qui ne sont actuellement plus utilisés. La puissance de chauffage y est nettement insuffisante et nous avons par conséquent fixé la consigne à 21°C. La mise en place de l'intermittence se heurte souvent aux faiblesses de l'installation de chauffage (sous-dimensionnement, équilibrage hydraulique ...) car elle a tendance à les amplifier. Aussi, la pratique de l'intermittence, avec un bon niveau de confort, nécessite en premier lieu de résoudre les problèmes propres à l'installation.

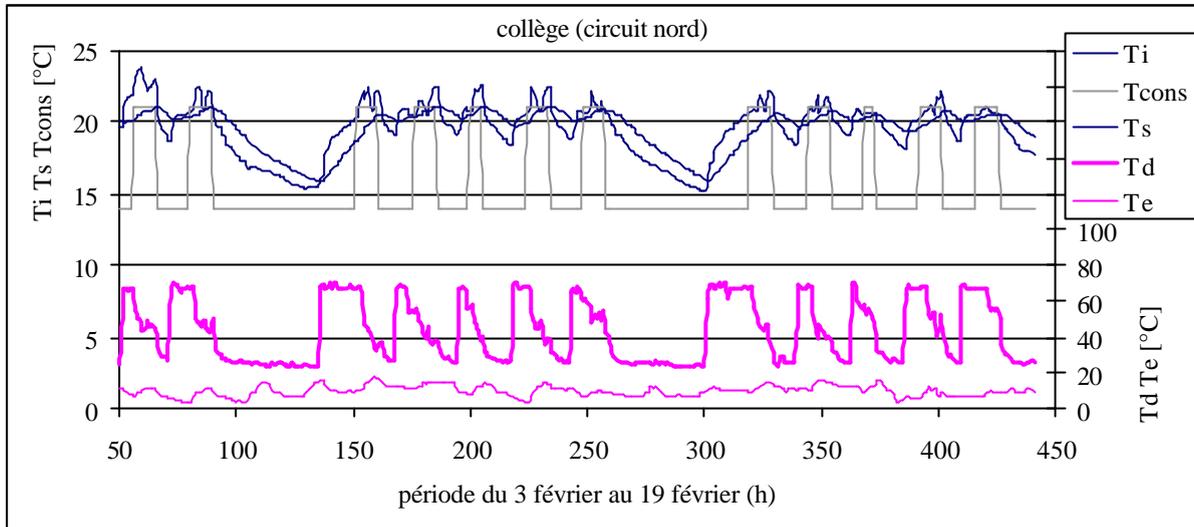


figure 7 : l'intermittence au collège (circuit nord)

Le circuit sud est géré à partir de la mesure de deux températures intérieures T_{i1} et T_{i2} . Le télérégulateur définit une température intérieure de référence en moyennant ces deux valeurs. Cette température de référence doit être suffisamment proche de T_{i1} et T_{i2} car elle conditionne la fin de la relance du chauffage à puissance maximale et l'ajustement de la loi de chauffe en allure normale (consigne $T_{ch}=21^\circ\text{C}$). La seconde zone (T_{i2}) bénéficie d'apports solaires plus importants. L'écart maximum entre T_{i1} et T_{i2} est de l'ordre de 1°C à la fin de la relance et 4°C en période d'occupation.

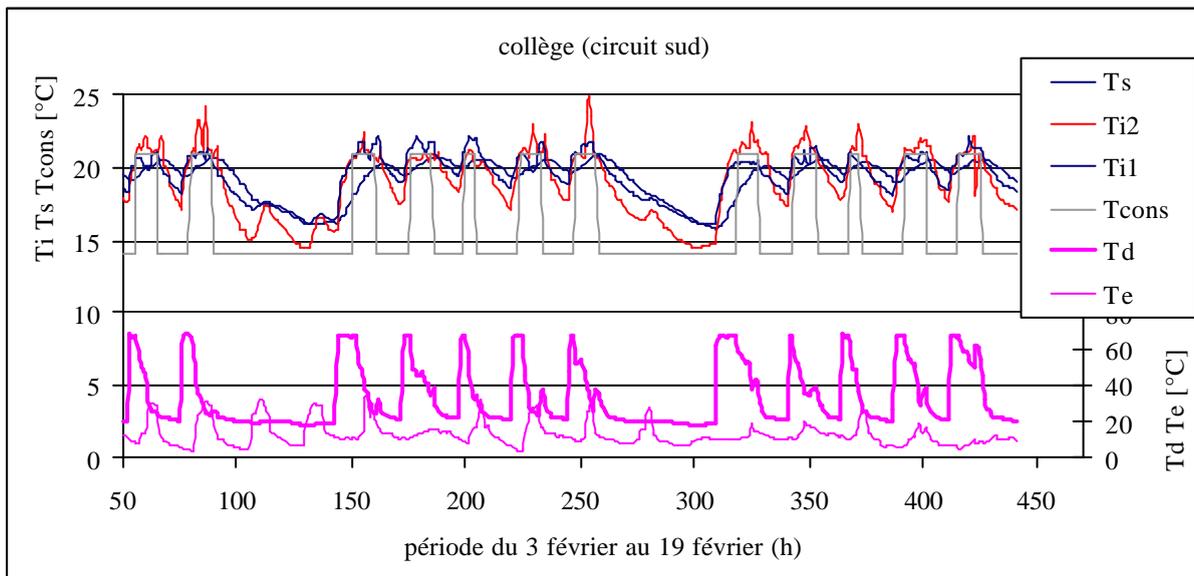


figure 8 : l'intermittence au collège (circuit sud)

4.2. la relance

Pour évaluer la qualité de la relance, nous avons déterminé la répartition des températures intérieures au début de chaque période d'occupation (8h). Il ne s'agit pas de l'heure correspondant au passage de T_{cb} à T_{ch} (figures 6-7-8) fixé à 7h en semaine sur les deux sites, 5h à la maternelle le lundi matin et 6h au collège.

Dans le cas de la maternelle (figure 9), nous avons distingué le lundi matin des autres jours de la semaine. La température minimale observée le lundi matin est 18.3°C lorsque la consigne T_{ch} valait 19°C (la consigne T_{ch} a été fixée à 20°C en février). La loi de relance, avec son mécanisme d'apprentissage, est donc tout à fait fiable. Paradoxalement, les plus faibles températures (intervalle [17.5- 18]) ont été observées en semaine. En analysant les deux jours correspondants (températures 17.7°C et 17.9°C), on s'aperçoit que la montée en température pendant la relance ne se fait pas normalement. La présence des femmes de ménage pourrait expliquer ce phénomène.

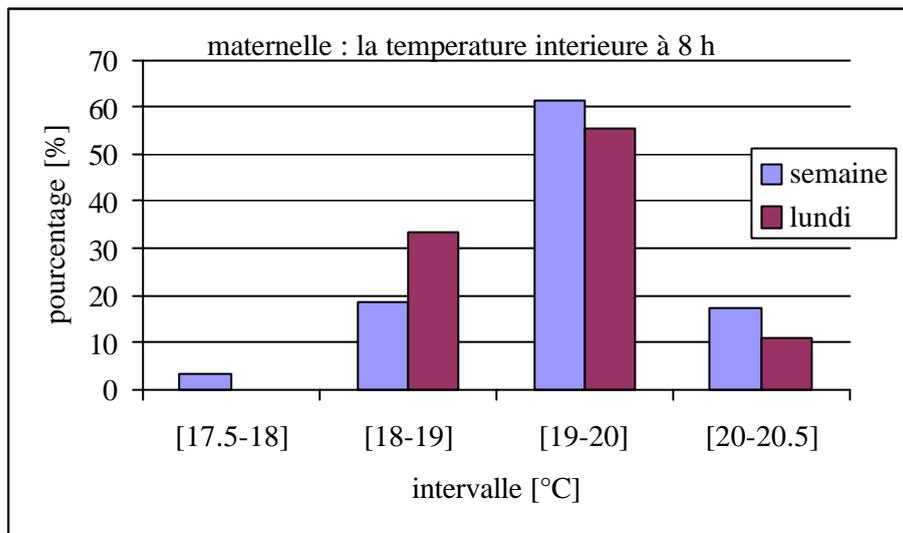


figure 9 : la température intérieure à 8 h à la maternelle

Au collège, nous indiquons la répartition des températures sur les deux circuits nord et sud. Dans les deux cas, les résultats correspondent à une consigne de 21°C. La relance est donc tout à fait satisfaisante puisque l'écart ne dépasse pas un degré. Sur le circuit sud, nous avons distingué les températures T_{i1} et T_{i2} . La température T_{i2} est globalement plus élevée que T_{i1} car la relance du chauffage dans cette zone est 'plus efficace' (figure 8).

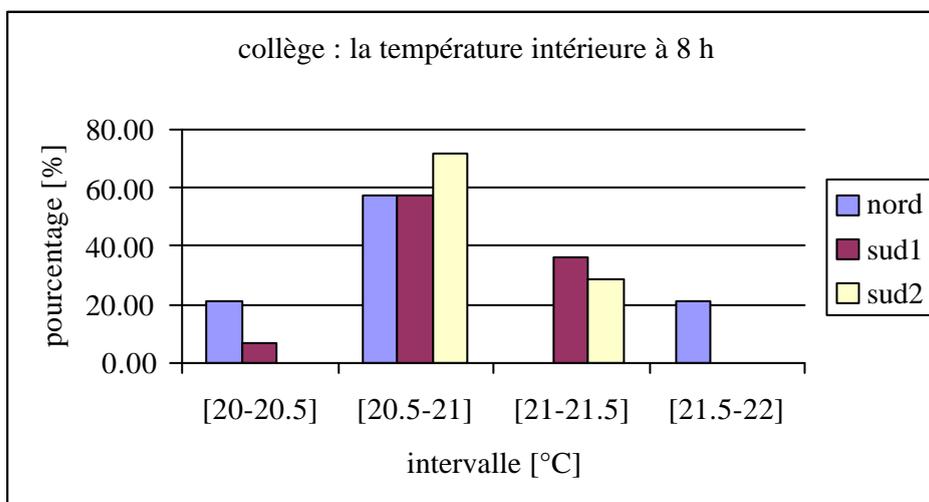


figure 10 : la température intérieure à 8 h au collège

4.3. la consommation énergétique

Dans la mesure où l'ancien système correspond à un régulateur de niveau 1, et notre régulateur à un niveau 5, il est évident que nous obtenons des économies d'énergie relativement importantes. Néanmoins, l'intérêt du télérégulateur est de nous avoir permis de définir le type d'intermittence adéquate (valeur de la consigne basse T_{cb}) en visualisant les courbes de température.

Nous disposons en principe des relevés mensuels des consommations de gaz sur les deux sites. Le SIGRE (Syndicat Intercommunal pour la Gestion Rationnelle de l'Energie), qui s'occupe d'environ 3000 établissements publics sur six communes de l'agglomération lyonnaise, nous a fourni les consommations mensuelles, depuis 1995, de la maternelle en kWh ainsi que les DJU pour les périodes correspondantes. Pour se ramener à des valeurs comparables, nous avons ramené les consommations aux DJU (Degrés Jours Unifiés) des périodes considérées.

Le télérégulateur a été opérationnel le 1^{er} mars 1999 (mise au point de janvier à février). Nous avons procédé à la comparaison des consommations issues des facturations entre notre régulateur (une année complète disponible : 1999) et l'ancien système (les années précédentes : 1995 à 1998).

La figure 11 présente la consommation de janvier à la maternelle au cours des différentes années (mois de janvier 2000 disponible). L'intérêt de considérer le même mois est de prendre en compte, en principe, les mêmes congés scolaires et jours fériés. Les écarts relevés d'une année sur l'autre dépendent, en plus du type de régulation (loi de chauffe, consignes, scénario d'occupation et niveau d'intermittence), de la correspondance entre les phases de chauffage-arrêt vis à vis des variations climatiques. En effet, la consommation sera plus importante, pour une même valeur de degrés jours, si le chauffage correspond à des périodes froides. Le nouveau système de télérégulation a fonctionné correctement à partir du mois de mars 1999. Aussi, seul le point 'janvier 2000' est représentatif du télérégulateur. Il s'agit du point présentant la plus faible consommation. L'année 1997 présente une faible consommation malgré un niveau DJU élevé. Il est très difficile d'en connaître la raison (relevé de consommation erroné ?).

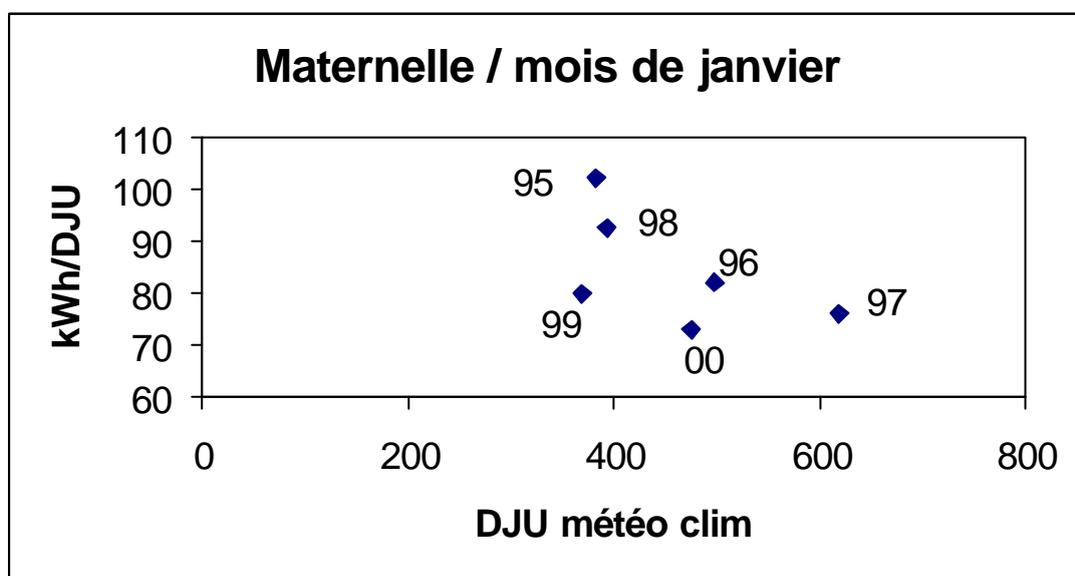


figure 11 : consommations ramenées aux DJU pour le mois de janvier (maternelle)

La figure 12 permet de mieux se rendre compte des économies annuelles réalisées. Celles-ci sont de l'ordre de 12% à la maternelle et de 10% au collège. Ces calculs ont été faits en se ramenant aux degrés jours. Le résultat du collège est légèrement moins bon car la chaudière alimente, en plus des départs Nord et Sud qui représentent la majeure partie de la consommation énergétique, le circuit 'administration' (régulé actuellement avec l'ancien système) et le départ du préparateur d'eau chaude sanitaire.

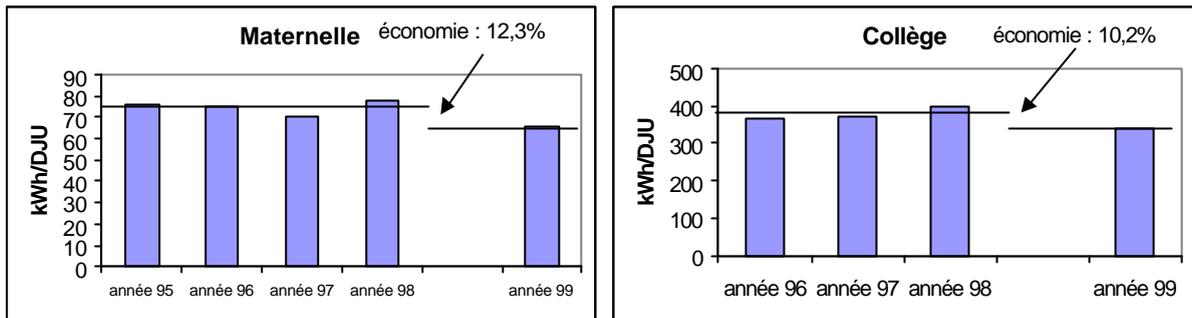


figure 12 : évolution des consommations annuelles et économies obtenues grâce au télérégulateur

Enfin, nous avons cherché à corrélérer la consommation journalière (issue de la valeur mensuelle) avec la température extérieure moyenne correspondante (figure 13). Cette dernière peut être estimée en divisant le nombre de DJU du mois par le nombre de jours : $Te_{moy} = 18^{\circ}\text{C} - DJU/\text{jour}$. Nous remarquons que la correspondance est linéaire, avec une pente plus faible dans le cas du télérégulateur.

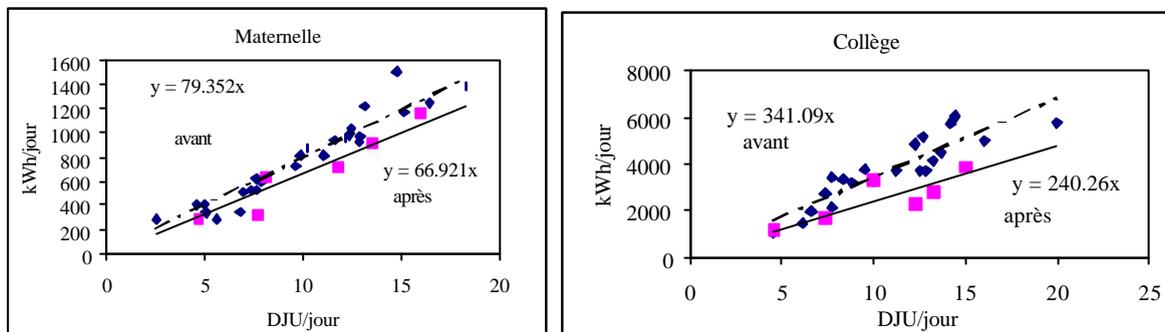


figure 13 : corrélation entre les consommations et la température extérieure ($Te_{moy} = 18^{\circ}\text{C} - DJU/\text{jour}$)

5. Conclusion

Le paramétrage des anciens régulateurs fonctionnant sur les deux sites met en évidence les craintes liées à la pratique de l'intermittence. Une courbe de chauffe basée sur le régime intermittent et une évaluation souvent imprécise des durées de relance conduisent à pratiquer une intermittence de niveau 1 (pas d'arrêt complet du chauffage) afin de préserver le confort des occupants. Les économies d'énergie réalisables dans les bâtiment scolaires sont certainement très importantes.

Par ailleurs, la pratique de l'intermittence nécessite une installation de chauffage adaptée et bien conçue. Ainsi, à la maternelle, la faible surpuissance disponible nous à contraint à limiter la baisse de température à $T_{cb} = 15^{\circ}\text{C}$. En effet, il est important de limiter les durées de relance du chauffage afin de ne pas pénaliser la consommation. Au collège, le sous-dimensionnement du système de chauffage (aérothermes arrêtés) sur le circuit nord ne favorise pas la pratique de l'intermittence.

Le télérégulateur, grâce au suivi des températures en temps réel ou différé, à permis de mettre en place une intermittence de niveau 5 conduisant à plus de 10 % d'économies sur chacun des deux sites, malgré les limites des installations de chauffage. Un régulateur classique ne permet pas un contrôle aussi précis du fonctionnement de l'installation pendant **et en dehors** des périodes d'occupation. Ce manque de suivi rend 'périlleuse' la pratique de l'intermittence.

Il serait intéressant d'étudier à présent un site adapté à la pratique d'une forte intermittence (surpuissance suffisante et réseau hydraulique équilibré). Dans ce cas, les économies réalisables sont certainement supérieures.

Bibliographie

- [CYS95] **Cyssau R.** *Manuel de la régulation et de la gestion technique*. Paris : PYC Edition, Association Confort Régulation, 1995. 377 p.
- [DUT91] **Dutartre N.** *La réglementation de la régulation et de la gestion de l'énergie*. Promoclim, 1991, tome 22, n°4, p. 214-239.
- [FAB95] **Fabron C.** *Régulation de systèmes thermiques en régime dynamique, application au chauffage intermittent des bâtiments*. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, 1995, 179 p.
- [FRA97] **Fraisse G.** *La régulation thermique des bâtiments tertiaires : application de la logique floue à la régulation centrale du chauffage en régime intermittent*. Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 1997, 166 p.
- [FRA99] **Fraisse G., Virgone J. and Yezou R.** *A numerical comparaison of different methods for optimizing heating-restart time in intermittently occupied buildings*. Applied Energy 62 (1999) 125-140
- [JAG95] **Jager R.** *Fuzzy logic in control*. Ph.D. Thesis : Delft University of Technologie, 1995. 313 p.
- [PES94] **Pescheux B.** *Contribution à la conception de modèles flous et commande floue de systèmes thermiques*. Thèse de Doctorat : Ecole des Mines de Paris, 1994. 178 p.
- [VIS88] **Visier J.C. et Bicard C.** *Pratique de l'intermittence du chauffage dans les locaux à occupation discontinue*. Cahiers du CSTB, octobre 1988, livraison 293, cahier 2279, p.1-66.
- [ZAD65] **Zadeh, L.A.** Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8. p 338-353.