



**HAL**  
open science

## etude de stratégies de contrôle ambiantal de bâtiments à occupation discontinue

Damien Rabourdin, Joseph Virgone, Damien Gondre

► **To cite this version:**

Damien Rabourdin, Joseph Virgone, Damien Gondre. etude de stratégies de contrôle ambiantal de bâtiments à occupation discontinue. CIFQ 2013, Jun 2013, reims, France. 6 p. hal-00985591

**HAL Id: hal-00985591**

**<https://hal.science/hal-00985591>**

Submitted on 19 Jun 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## ETUDE DE STRATEGIES DE CONTROLE AMBIANTAL DE BATIMENTS A OCCUPATION DISCONTINUE

Damien **RABOURDIN**<sup>a</sup>, Joseph **VIRGONE**<sup>a,\*</sup>, Damien **GONDRE**<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centre de Thermique de Lyon (CETHIL-UMR 5008), Université Lyon1, INSA-Lyon, Villeurbanne, France

---

### RÉSUMÉ

Dans le cas de bâtiments à forte intermittence du chauffage tels que les universités, écoles ou administrations, il est nécessaire de bien définir les modes de fonctionnement des systèmes thermiques. Nous avons conçu de nouvelles règles de contrôle des installations et les avons testées en simulation numérique afin d'identifier les économies d'énergie potentielles et vérifier que le confort thermique des usagers n'est pas trop affecté. Les stratégies de contrôle thermique sont guidées par le maintien du confort des usagers combiné à deux types de techniques : pour les bureaux la détection de présence est la seule information disponible et pour les salles de réunion ou les salles de cours c'est le calendrier de réservation qui est utilisé, ce qui permet aussi de faire de l'anticipation. Afin de trouver le meilleur compromis, le temps nécessaire pour atteindre la température de consigne est estimé en fonction des conditions ambiantes que ce soit dans la deuxième option ou pour l'ensemble des locaux au démarrage du chauffage, le matin. Les résultats montrent qu'il est possible de maintenir le confort thermique des utilisateurs tout en réduisant la demande d'énergie sur la saison de chauffage jusqu'à 24% pour l'exemple traité ici.

*Mots Clés : contrôle, chauffage, pré-chauffe, anticipation relance, confort thermique, intermittence*

---

### NOMENCLATURE

T<sub>i</sub> : température intérieure (°C)  
T<sub>st</sub> : température de consigne (°C)  
Δt : durée de relance (s)

ΔT différence de température entre la température de consigne et la température intérieure, au moment où le système de chauffage est activé (°C).

---

### 1. INTRODUCTION

À la fin de 2010, la Commission européenne, dans le septième programme-cadre, a financé le projet «Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces » (SEEMPubS) [1].

Le projet porte sur le thème des économies d'énergie dans les bâtiments publics existants en concevant un système intelligent basé sur les TIC (Technologies de l'Information et des Communications) pour surveiller et contrôler les conditions environnementales, les charges d'énergie et le fonctionnement des systèmes. Le projet a pour objectif de mettre en œuvre, dans un ensemble de bâtiments démonstrateurs du Politecnico de Turin, un système interopérable basé sur une solution logicielle et

matérielle pour la surveillance en temps réel et le contrôle de l'éclairage, du chauffage et de la climatisation, à la fois filaire et sans fil de capteurs en réseau. Pour évaluer les économies d'énergie réalisables, les salles retenues pour le projet (six paires de pièces identiques, chauffées et refroidies individuellement avec des ventilo-convecteurs) ont été simulées avec les installations existantes (cas de référence) et après application des stratégies de contrôle proposées (cas test) [2, 3, 4, 5].

Les nouvelles règles de contrôle thermique qui ont été conçues ont été testées au préalable en simulation numérique afin d'identifier les économies d'énergie potentielles et vérifier que le confort thermique des

\* auteur correspondant  
Adresse électronique : [courriel de l'auteur correspondant](mailto:courriel de l'auteur correspondant)

usagers n'est pas trop affecté. Les cas test qui sont en cours d'instrumentation ont été modélisés avec TRNSYS [6] pour la partie thermique que nous présentons dans cette communication. Les stratégies de contrôle thermique testées sont guidées par le maintien du confort des usagers combiné à deux types de techniques : pour les bureaux la détection de présence est la seule information disponible et pour les salles de réunion ou les salles de cours c'est le calendrier de réservation qui est utilisé, ce qui permet aussi de faire de l'anticipation. Afin de trouver le meilleur compromis, le temps nécessaire pour atteindre la température de consigne est estimé en fonction des conditions ambiantes que ce soit dans la deuxième option ou pour l'ensemble des locaux au démarrage du chauffage, le matin.

En ce qui concerne l'optimisation du confort thermique nous avons particulièrement travaillé sur l'amélioration de la corrélation de calcul du temps de relance qui a l'avantage d'être simple et auto-adaptative. Par ailleurs, une corrélation simple est recherchée, ne nécessitant pas de calcul complexe en amont (ni simulation thermique, ni diagnostic de performance énergétique préliminaire).

Nous présentons aussi les premiers résultats relatifs aux économies d'énergie réalisées en saison de chauffe et qui indiquent une réduction annuelle allant jusqu'à 24% sur l'exemple traité ici.

## 2. STRATEGIES DE CONSERVATION DE L'ENERGIE

L'avantage économique de l'utilisation intermittente des systèmes de chauffage dans les bâtiments occupés par intermittence (par exemple les écoles, immeubles de bureaux) est avéré. Néanmoins, l'optimisation de la consommation énergétique et du confort exige que le temps de relance du chauffage soit défini avec précision. Dans de nombreux cas, pour éviter les risques d'inconfort, l'abaissement de la température au cours de la période de non-occupation est limité, ce qui conduit à une réduction des économies d'énergie.

Un régulateur de chauffage intermittent permet à la température interne de l'ensemble des locaux d'être abaissée au cours de périodes de non-occupation, tout en maintenant la température souhaitée pendant les périodes d'occupation, lorsque ces périodes sont clairement définies. Pour le projet SEEMPUBS il a été proposé d'aller plus loin en tenant compte de la présence réelle des occupants. Cette présence est déterminable en 3 points :

- *La détection de présence.* : la présence est connue grâce à un détecteur de présence. Le chauffage peut être coupé ou ralenti lorsque la pièce est inoccupée après un bref délai, sauf si une présence vient à être détectée pendant une durée minimale. La chauffe est

programmée, en période d'occupation, à une température de consigne  $T_{sp}$ , néanmoins, l'utilisateur peut toujours agir sur le système en modifiant la température de consigne des ventilo-convecteurs, chacun étant individualisé par pièce.

- *La planification de présence.*

Des plannings d'occupation peuvent être connus pour certains locaux (salle de classe...). Au cours des horaires de service (ou planning d'occupation théorique) le local sera chauffé à un niveau de base  $T_{sp} - \Delta T$ . Le  $\Delta T$  choisi est 3 °C. En cas de présence avérée (signalée par le détecteur de présence) ou si le planning a prévu une occupation, la consigne  $T_{sp}$  sera appliquée.

Pour un local dans lequel une planification de présence est impossible (par exemple un bureau d'enseignant, cas étudié ici) nous avons choisi de chauffer le local toute la journée (8h-12h et 13h-18h) à un niveau de base pour assurer un confort intérieur minimum au cas où l'utilisateur venait à rentrer.

- *La prédiction de présence.*

La possibilité de connaître la présence ou non dans le local permet d'anticiper la remise en marche du chauffage de manière à obtenir le confort thermique à l'utilisateur au moment où il va arriver, et aussi d'anticiper l'arrêt de chauffage pour effectuer des économies d'énergie si le local doit être vide.

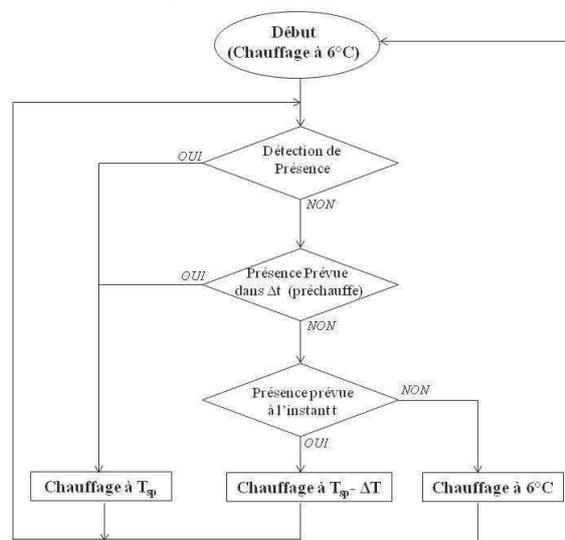


Figure 1 : Stratégie de chauffage pour les bureaux

Ces stratégies s'appuient également sur une meilleure gestion de la vitesse du ventilateur des ventilo-convecteurs (0, 1, 2 ou 3) en automatisant leur sélection. Plus la température intérieure se rapproche de la température de consigne plus la vitesse de soufflage est réduite. De cette manière, la puissance délivrée par le ventilo-convecteur est adaptée aux besoins énergétiques du local.

### 3. EVALUATION, DES STRATEGIES DE CONSERVATION DE L'ENERGIE

Les stratégies sont évalués dans des bureaux de l'université Politechnique de Turin. Ces bureaux se situent sous les toits, dans un vieux bâtiment aux murs épais et non isolés. Les locaux étudiés ont une surface de 17 m<sup>2</sup> et sont des bureaux occupés par des chercheurs.

Les locaux test et référence sont accolés (voir figure 2) ce qui implique des échanges thermiques entre eux qui seront pris en compte lors des calculs d'économie d'énergie.

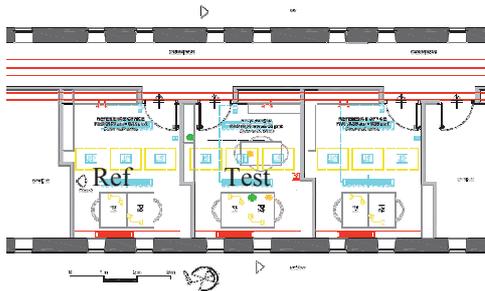


Figure 2 : Plan des locaux étudiés (Diter Offices).

Le chauffage est réalisé par ventilconvecteurs individualisés par pièce.

Les simulations sont effectuées avec le logiciel de simulation thermique dynamique TRNSYS et sont basées sur les données climatiques annuelles pour Turin. Les résultats des différentes stratégies étudiées (tableau 1) sont présentés en termes d'économies d'énergie et de confort.

Tableau 1 : différentes stratégies de conservation de l'énergie

| Cas        | Description  |
|------------|--|
| Ref.       | La température de consigne $T_{sp}$ est de 21°C durant le planning d'occupation théorique. et préchauffe tout les jours ouvrés à 6h.   |
| Cas Test 1 | Détection de présence avec deux températures de consigne (21°C et 18°C) et préchauffe tout les jours ouvrés à 6h.  |
| Cas Test 2 | Détection de présence avec deux températures de consigne (21°C et 18°C) et optimisation du temps de relance, corrélation fixe  |
| Cas Test 3 | Détection de présence avec deux températures de consigne (21°C et 18°C), optimisation du temps de relance, corrélation fixe et anticipation de la coupure de chauffage en fin de journée |
| Cas Test 4 | Détection de présence optimisée avec deux températures de consigne (21°C et 18°C) et optimisation du temps de relance par méthode auto-adaptive  |

Le calendrier d'occupation des bureaux simulés dans Trnsys est le même pour tout les cas Tests et est présenté sur la figure 3.

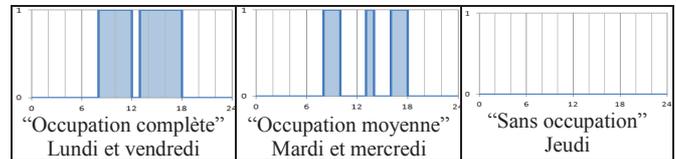


Figure 3 : Horaires d'occupation typiques utilisés dans la simulation

Les lundis et vendredis sont des jours d'occupation complète, les mardis et mercredis sont des jours d'occupation moyenne et les jeudis sont censés être sans occupation. L'occupation le samedi est effective de 9h à 13h. Cela signifie que le taux d'occupation réel considéré dans la simulation est de 56% de l'occupation théorique (08h-12h et 13h-18h du lundi au vendredi et 08h-15h le samedi)

Afin d'atteindre les conditions de confort, la température d'air de consigne a été prise égale à 21° C au cours de la saison de chauffage. La réduction de la température de consigne (18°C) ne s'applique que pendant l'occupation théorique, lorsque la présence n'est pas détectée.

### 4. OPTIMISATION DU TEMPS DE RELANCE (Cas test 2 &4)

#### 4.1. Système Corrélation Fixe (cas test 2)

Pour améliorer le temps de relance, nous avons relevé le  $\Delta t$  (temps de relance nécessaire pour atteindre la température de consigne chaque jour) sur une simulation annuelle pour le bâtiment. Ces relevés ont été réalisés avec une vitesse de ventilconvecteur de 2 et à 6h le matin. C'est la courbe de montée en température qui est analysée pour déterminer la durée nécessaire, chaque jour, à l'atteinte de la température de consigne. Une corrélation a été mise en évidence entre la durée  $\Delta t$  de relance et de différence de température  $\Delta T$  entre la température de consigne et la température intérieure, au moment où le système de chauffage est activé.

Les résultats sont représentés sur la figure 4.

Le cas du lundi matin a été séparé des autres jours. En effet, le lundi matin la température de la structure du bâtiment est plus faible et pour une même température intérieure il faut un temps plus long pour atteindre la consigne.

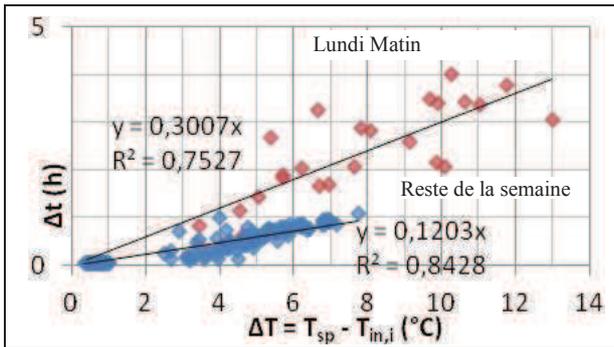


Figure 4 : Corrélation entre  $\Delta t$  et  $\Delta T$  (DiterOffices)

Cette stratégie a été mise en œuvre pour la période de chauffage avec la corrélation simple suivante en mode chauffage:

$$\Delta t = 0,3 \Delta T \text{ les lundis matins}$$

$$\Delta t = 0,12 \Delta T \text{ le reste de la semaine}$$

En période de refroidissement, aucun temps de relance n'est généralement nécessaire, car il n'y a pas de problème d'inconfort tôt le matin.

#### 4.2. Système auto-adaptif (cas 4)

Le système mis en œuvre au cas test 2 peut être optimisé. On cherche donc à développer un système auto-adaptif, qui adapte le temps de relance aux conditions du bâtiment (intrinsèques et extrinsèques).

Les corrélations ne sont pas parfaites sur une période hivernale, car le lien entre temps de chauffe et écart de température varie selon l'écart de température : plus l'écart entre  $T_{sp}$  et  $T_i$  est grand, plus il est aisé de le réduire. Ce temps de relance optimal dépend donc de la température extérieure. Il peut donc être judicieux de le calculer chaque jour de la semaine. Cela permet d'ajuster le temps de relance et les vitesses de ventilateurs et ainsi de chauffer moins longtemps en pré-chauffe.

Ce calcul est basé sur un historique des périodes de chauffage passées, divisé en deux parties: le lundi matin, avec un historique de 8 valeurs et le reste de la semaine, avec un historique de 3 semaines soit 15 valeurs.

Pour chaque période de préchauffage, une des deux matrices est remplie avec le temps de relance  $\Delta t_{mes}$  et la différence de température  $\Delta T_{mes}$  entre la température intérieure et la température initiale de consigne.

$\Delta t$  est calculé avec la formule suivante :

$$\Delta t_{calc} = \beta_1 * \Delta T_{mes} + \beta_0$$

où  $\beta_0$  et  $\beta_1$  sont les coefficients de la régression linéaire et sont mis à jour chaque jour.

Le système relève également si la durée de préchauffe a été suffisante pour atteindre la consigne le matin, si ce n'est pas le cas, le temps de relance sera plus important.

La figure 5 suivante permet de se rendre compte de la variation, en fonction du climat extérieur, de l'adaptation de la loi qu'il convient d'utiliser.

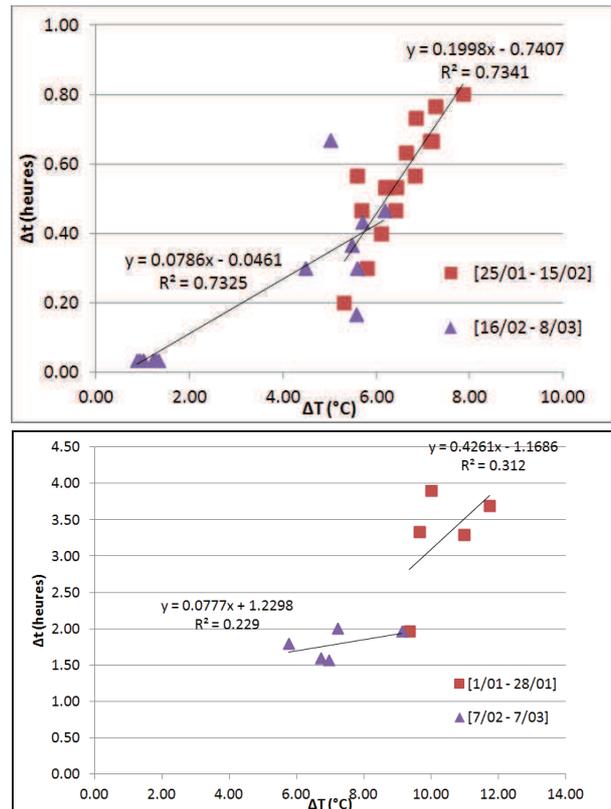


Figure 5 : Exemples de corrélations en semaine (en haut) et le lundi (en bas) pour deux mois particuliers

Dans ce cas test 4, il est ajouté un système de Timers permettant de ne pas déclencher le chauffage en cas de présence sur une courte durée (inférieure à 10 minutes), phénomène qui peut être courant dans un bureau et qui n'affecte pas l'inconfort de l'occupant.

De plus, à chaque préchauffe, la vitesse du ventilateur est bloquée à sa valeur initiale jusqu'à atteinte de la température de consigne (et n'évolue pas en fonction de l'écart de température à la consigne) pour permettre une préchauffe plus rapide.

#### 4.3 Economies d'Énergie

Les résultats affichés sur la figure 6 montrent que dans le cas 4, le système permet de réduire la

consommation énergétique de 24% sur le chauffage et de 11% sur le refroidissement.

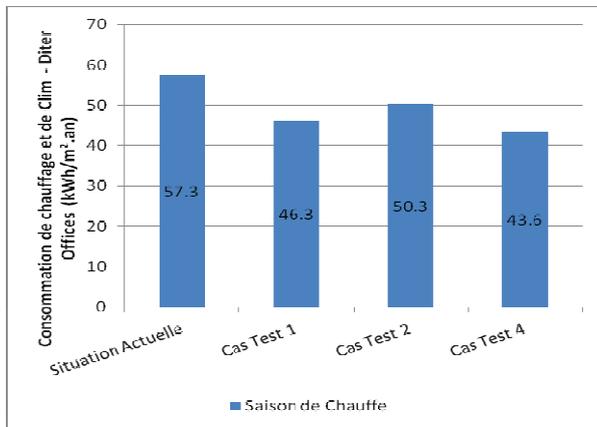


Figure 6 : Comparaison des consommations de chauffage sur une année type (Diter offices) pour 3 cas Test

Tableau 2 : Economies de Chaud et de froid sur une année type (Diter offices) pour 3 cas Test

| kWh/m².an           | Ref   | Cas test 1 | Cas Test 2 | Cas Test 4 |
|---------------------|-------|------------|------------|------------|
| Saison de Chauffage | 57.35 | 46.3       | 50.3       | 43.6       |
| Economies           | -     | 19.3%      | 12.4%      | 24.0%      |

Ainsi pour un même bâtiment, à température de consigne identique en occupation, et réduite par ailleurs, les économies sont de 24 % en chauffe.

#### 4.3. Résultats sur le Confort thermique

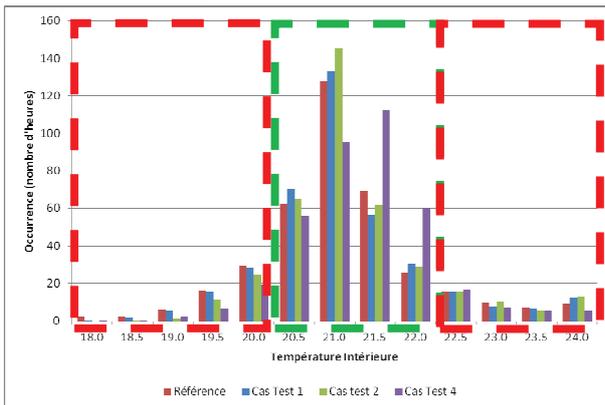


Figure 7 : Répartition de la température intérieure du 1 janvier au 15 avril d'un hiver type, entre 8h et 18h (Diter Offices) pour les 3 cas tests et la référence

Le confort est un problème en particulier pendant les heures de début dans la stratégie existante (pièce de référence) et dans la stratégie étudiée comme le montre

la figure 7. Les résultats de confort sont donnés sans compter la première semaine de mise en chauffe du bâtiment.

Dans le cas test 1, nous pouvons voir qu'il ya encore de nombreuses heures lorsque la température intérieure est loin d'être à la température de consigne pendant l'occupation, particulièrement entre 8h et 8h30, comme le montre la figure 8.

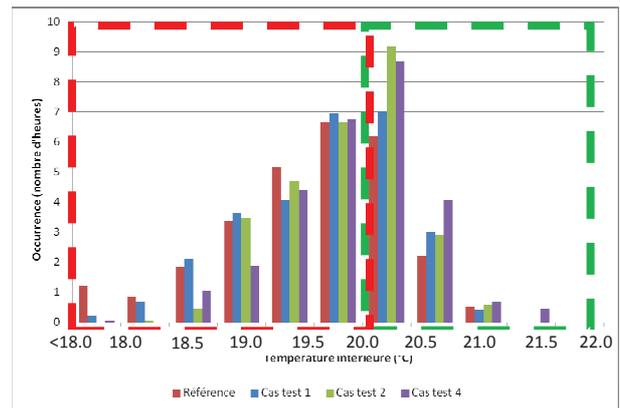


Figure 8 : Répartition de la température intérieure du 1 janvier au 15 avril d'un hiver type, entre 8h et 8h30 (Diter Offices) pour les 3 cas tests et la référence

Ceci est probablement dû au fait que le système CVC est allumé à 6h00 tous les matins de la semaine quelle que soit la température extérieure et la température ambiante. Lorsque la température extérieure est très basse ou lorsque le système CVC a été éteint pendant une longue période (en général le lundi matin), le temps nécessaire pour atteindre la température de consigne est plus long.

Dans les cas test 2 et 4 ; les résultats sur le confort sont bien meilleurs.

Le système Auto Adaptif est légèrement plus performant que les corrélations fixes, du fait du coefficient de détermination non optimal de ces corrélations (écart-type de 12 minutes pour le lundi matin et 32 minutes pour le reste de la semaine).

#### 5. ANTICIPATION DE LA FIN DE LA PERIODE DE CHAUFFE (Cas test 3)

Dans ce cas, il s'agit d'éteindre le ventilo-convecteur 30 minutes avant la fin de la période d'occupation théorique. Il a été testé sur les Diter Office dans les mêmes conditions que le cas 2, en éteignant le système de chauffe à 17h30 heures au lieu de 18h.

##### 5.1. Economies d'énergie

Les premiers résultats sont présentés sur la figure 9, qui met évidence des économies d'énergies faibles (6%)

entre les cas test 2 et 3, relativement aux économies faites lors de l'optimisation de la préchauffe.

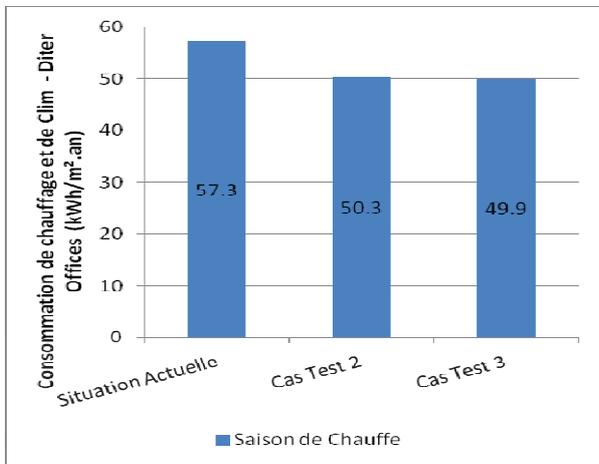


Figure 9 : Consommations de chauffage sur une année (Diter offices)

## 5.2. Résultats sur le confort

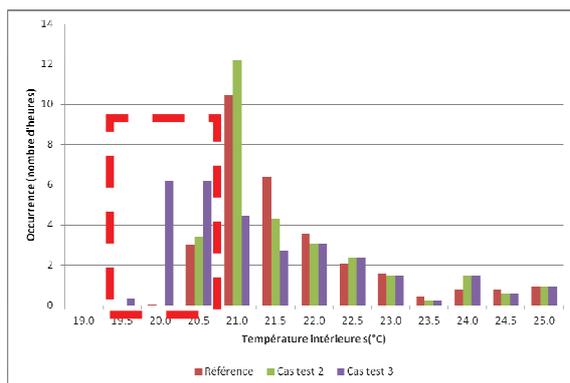


Figure 10 : Distribution de la température intérieure en saison de chauffe entre 17h30 et 18h, entre le 1 janvier et le 15 avril, sur une année type.

Il est intéressant d'observer les résultats en termes de confort thermique vis-à-vis de ces économies d'énergie. La figure 10 ci-dessus montre la répartition de la température intérieure de 17h30 à 18h00 pendant la saison de chauffe.

Ce diagramme montre que l'anticipation de la coupure du chauffage conduit à abaisser la température à l'intérieur de manière significative. Cette anticipation de la coupure du chauffage n'apparaît pas forcément comme pertinente. Pour garantir un confort optimal, il est discutable d'économiser 6% sur les charges de

refroidissement en abaissant le confort durant la dernière demi-heure d'occupation.

## 6. CONCLUSION

Pour le contrôle des services de CVC, les résultats de la simulation ont souligné que, compte tenu des caractéristiques du bâtiment étudié (ventilo-convecteurs indépendants dans chaque pièce), les meilleures stratégies de contrôle sont à la fois basées sur la détection et la prévision de présence. Dans le cas test 4 présenté, on peut atteindre 24% d'économies d'énergie pendant toute une année de chauffage par rapport à la pièce de référence, tout en augmentant le confort des utilisateurs, particulièrement les matins.

Un système auto adaptatif (au climat et aux utilisateurs) a été testé et montre sa pertinence, autant que des corrélations fixes ; Ce système est flexible et pourra s'appliquer à d'autres types de bâtiment et d'autres types de climats, sans nécessité d'effectuer un diagnostic du bâtiment ou du système de chauffage.

Néanmoins, il faut garder à l'esprit que les stratégies de contrôle qui seront mises en œuvre dans le système Smart Link doivent prendre soigneusement en considération l'équilibre nécessaire entre les économies d'énergie et les conditions de confort thermique, en particulier au début du temps de travail.

## REMERCIEMENTS

La recherche est financée par l'UE, le 7e PCRD, SEEMPUBS project, 2010 : Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces.

## RÉFÉRENCES

- [1] Site Web de SEEMPUBS : <http://seempubs.polito.it/>
- [2] Virgone J.&al. 2010. Building definition: criteria, methodologies and description of the selected buildings, D1.1, WP1, Novembre 2010, Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces SEEMPUBS project, <http://seempubs.polito.it/>
- [3] Virgone J.&al. 2011. Energy audit certification, D1.2, WP1, février 2011, Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces, SEEMPUBS project, <http://seempubs.polito.it/>
- [4] Pellegrino A. & al, Initial energy control and Conservation strategies, D2.3.1., WP2, Août 2011, Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces SEEMPUBS project, 53p
- [5] Destefanis A. & al, Initial Specification of the intelligent control system, D2.1.1, WP2, février 2011, Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces SEEMPUBS project, 75p
- [6] Site Web de TRNSYS : <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>