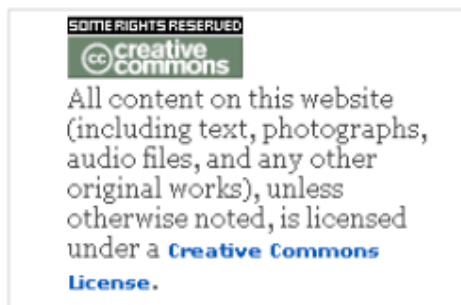


Systemic Complexity for human development in the 21st century
Systemic Complexity : new prospects to complex system theory
7th Congress of the UES **Systems Science European Union** Lisbon, Dec. 17-19, 2008



ShareAlike

This work is licensed under the
Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivs
License

Ce travail est protégé par une licence
Creative Commons

(559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA)

au profit de l' association

APOCOSIS

ISBN: 978-972-9059-05-6

Il peut être copié et distribué gratuitement, uniquement dans un but non-commercial, mais sans modification, et à condition que soit indiqués

It can be copied and distributed, only in a non-commercial purpose, but without modification, and provided with the indications of

the origin/la source : <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Lisboa08/moujalled.pdf>

the title/le titre : [Dynamic Modeling of Thermal Comfort in Buildings.](#)

the author/l'auteur : **MOUJALLED Bassam, Richard CANTIN & Gérard GUARRACINO**

the pages/la pagination : **10 p.**

the year/l'année : **2008**

& the book/la publication: [7th Systems Science European Union Congress Proceedings, Lisboa, Portugal.](#)

Attribution Non-Commerciale, Partage À l'Identique
Urhebernennung, Nicht-kommerziell, Gegenseitigkeit

Atribución No comercial, Compartir en igualdad

Atribuição Não-Comercial, Partilha em Igualdade



Dynamic Modeling of Thermal Comfort in Buildings

B. Moujalled

ENTPE DGCB CNRS URA 1652
Université de Lyon
3, rue Maurice Audin
69120 Vaulx-en-Velin France
moujalled@entpe.fr

R. Cantin

ENTPE DGCB CNRS URA 1652
Université de Lyon
3, rue Maurice Audin
69120 Vaulx-en-Velin France
cantin@entpe.fr

G. Guarracino

ENTPE DGCB CNRS URA 1652
Université de Lyon
3, rue Maurice Audin
69120 Vaulx-en-Velin France
guarracino@entpe.fr

Abstract

The energy consumption in buildings is mainly used to create and maintain comfort conditions in the indoor environment, which also affect health and productivity of the occupants. In France, the use of energy for heating, ventilating and air-conditioning of the indoor environment is already the largest sector in energy consumption. So the way the thermal comfort is defined has profound implications for the quality of both the natural and the built environments.

Thermal comfort is concerned by multiple interactions between occupant and building; it can be described by many uncertain variables, quantitative or qualitative, and of different nature (physiological, psychological, and physical).

Currently, the thermal comfort is represented by two disparate approaches. The first one is based on static models that focus only on the physical exchange between the occupant and the thermal environment. These models have been universally applied across all building types, and are contributing to an increased reliance on mechanical cooling. The second approach is based on the adaptive capabilities of building occupants represented by three negative feedback loops. Adaptive models have been developed using statistical analyses of the results of different field studies.

In this article, we describe the main complex thermal comfort mechanisms. Then, using the systemic approach, we will show a dynamic model on thermal comfort that integrates the different physical and adaptive mechanisms. This model can simulate the thermal response and the behavior of an occupant under dynamic conditions. Finally, dynamic simulations show the benefit of systemic approach in modeling the thermal comfort on the energy use in buildings.

Key words : thermal comfort, occupant behavior, adaptation, system dynamics.

Investigation systémique du confort thermique

Une caractéristique importante du confort thermique dans est sa pluralité disciplinaire faisant intervenir un nombre important d'éléments de nature différente en échange permanent de flux de diverses natures (énergie, matière et information). Les différentes approches actuelles qui traitent le confort thermique ne permettent pas de représenter les différents états du confort thermique de l'individu dans les bâtiments [1]. Une première approche analytique réduit le confort thermique à son aspect physique et physiologique alors qu'une deuxième approche alternative, dite adaptative, le représente en une boîte noire où les mécanismes complexes du confort ne sont pas explicitement définis. Chacune de ces deux approches repose sur ses principes et développent ses propres équations pour modéliser le confort thermique indépendamment de l'autre. Or le confort thermique ne peut être décrit avec précision qu'en considérant ces deux

approches conjointement : l'approche analytique qui se focalise sur l'aspect physique et les échanges thermique entre l'occupant et son environnement thermique, et l'approche adaptative qui s'intéresse aux mécanismes rétroactifs de l'adaptation de l'occupant dans son environnement. Ces deux approches présentées comme antagonistes, sont en effet complémentaires et doivent être associées pour permettre une vision globale qui s'approche le mieux de la réalité du confort thermique. D'où l'intérêt de l'approche systémique dans l'étude du confort thermique. La systémique permet d'étudier le confort thermique en englobant la totalité des éléments du système étudié ainsi que leurs interactions et leurs interdépendances.

L'approche systémique conduit donc à caractériser le confort thermique à l'aide d'un système microscopique composé de deux sous-systèmes complexes en interaction: le bâtiment et l'occupant, ce dernier étant maintenu dans la boucle de régulation [1]. Cet ensemble suggère une interface forte par un complexe d'échanges multidisciplinaires, dans leur nature et leur contenu, entre les 2 sous-systèmes (Figure 1).

La définition du sous-système bâtiment consiste à identifier sa frontière, à travers laquelle il échange matière, énergie et/ou information avec son environnement, par rapport à la finalité de procurer un environnement intérieur favorable aux activités des occupants. La frontière sera l'enveloppe du système bâtiment qui réalise la clôture du système, celui-ci étant en interrelation avec un environnement extérieur et un environnement intérieur « l'occupant ». L'occupant, système thermorégulé, évolue ainsi dans cette ambiance intérieure. Pour le sous-système "occupant", la frontière sera la peau et la vêtue. L'ambiance intérieure du bâtiment constitue un environnement immédiat dans lequel s'effectuent les échanges de flux d'énergie, de matières (air, eau) et d'informations, entre l'occupant et le bâtiment. Le choix de l'occupant comme environnement intérieur du sous-système bâtiment justifie la définition de la finalité de celui-ci, d'un point de vue microscopique, relativement au sous-système occupant. De plus, le fait d'y intégrer l'occupant lui procure la possibilité d'une auto-finalisation et/ou la capacité de prendre en compte des évènements extérieurs pour revenir à la stabilité. En effet, l'occupant peut définir ses propres finalités et son intelligence lui confère l'autonomie à même de répondre à un changement de son environnement [2].

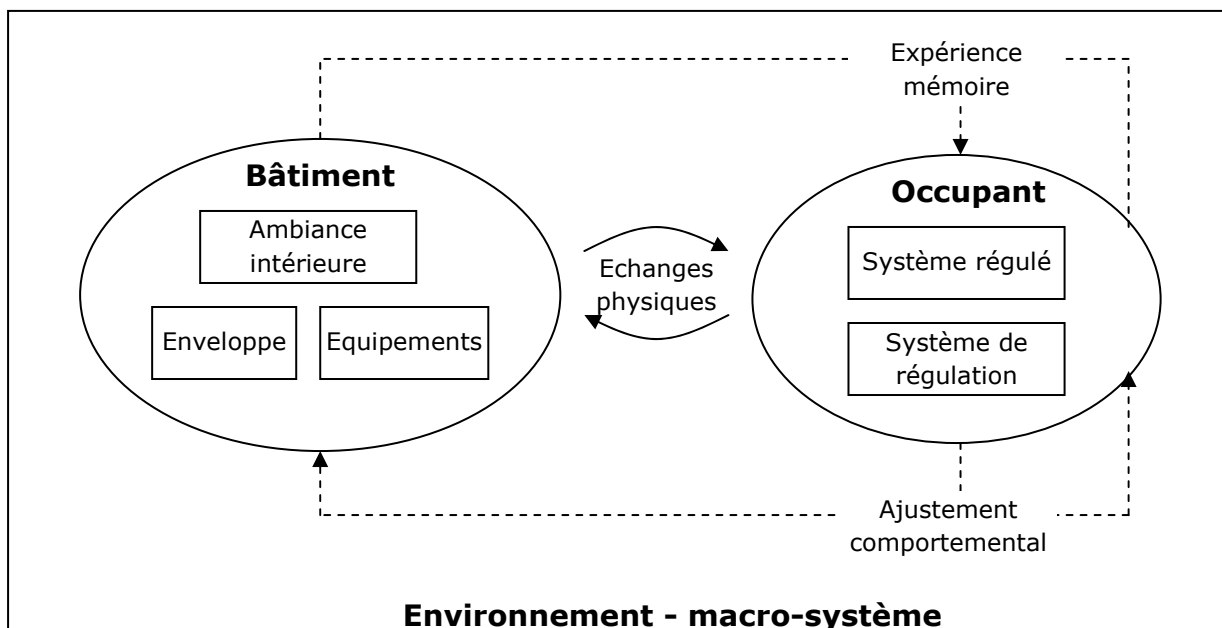


Figure 1 - Caractéristiques structurelles d'un modèle du confort thermique.

Les mécanismes adaptatifs du confort thermique

L'approche analytique considère uniquement l'aspect physique des interactions entre l'occupant et le bâtiment à travers les échanges de chaleur et de masse. Or, l'occupant analyse sa situation actuelle et dès qu'il perçoit un changement dans son environnement ou un écart par rapport à ses attentes ou ses aspirations, il réagit en s'adaptant à la nouvelle situation ou en adaptant l'environnement à sa convenance. C'est exactement ce type d'interactions qui est mis en avant par l'approche adaptative, et caractérisant les mécanismes adaptatifs. L'approche adaptative considère 2 mécanismes adaptatifs prépondérants représentés par des boucles de rétroaction :

- l'ajustement comportemental qui représente une liaison de rétroaction agissant, par exemple, sur le climat intérieur du bâtiment et sur la frontière vestimentaire entre les deux systèmes. Les ajustements comportementaux englobent toutes les actions effectuées, consciemment ou non, par un individu pour modifier des flux d'énergie échangés avec l'environnement bâti. Ils peuvent être représentés en trois groupes d'ajustement: personnel (modification de la vêtue), technologique (ouverture ou fermeture d'une fenêtre, mise en marche d'un ventilateur), ou socioculturel (sieste aux heures chaudes).

- L'expérience thermique et la mémoire de l'individu qui affectent la sensation thermique par les attentes et l'accoutumance. Il s'agit d'une liaison agissant inversement à l'ajustement comportemental. Dans ce cas, les facteurs psychologiques sont introduits dans l'étude des mécanismes d'adaptation pour prendre en compte l'altération de l'information sensorielle par le passé de l'individu et ses attentes. Elle peut être comparée à la notion d'habituation en psychophysiologie (l'exposition répétée à un stimuli diminue l'intensité de la réponse). La satisfaction d'un individu dépend des conditions thermiques qui existent dans cet environnement et de ce qu'il attend.

Le confort thermique est décrit ainsi par les interactions physiques entre ces deux sous-systèmes ainsi que les mécanismes d'adaptation représentés par des boucles rétroactives.

De cette représentation du confort thermique, il apparaît qu'il peut être caractérisé par un système auto-organisateur où l'occupant du bâtiment possède la capacité de modifier son comportement en fonction du niveau de confort, de son expérience et des transformations de son environnement suivant une organisation dynamique avec existence de relations causales circulaires (boucles de rétroaction). Ceci ouvre la voie devant une modélisation en dynamique des systèmes complexes du confort thermique qui permet d'associer ces boucles et de les dynamiser, d'en formaliser les relations au sein d'un modèle de simulation où interviendrait explicitement le temps.

La modélisation dynamique du confort thermique

Les éléments clés pour cette analyse causale sont les interactions entre l'occupant et le local. A part les échanges physiques, ces interactions peuvent être représentées en 2 boucles de régulation qui explicitent les mécanismes adaptatifs et les processus décisionnels liés à l'occupant dans le local. Les deux boucles sont relatives au comportement et à l'adaptation psychologique. Cette dernière exprime l'altération de l'information sensorielle par les attentes et l'accoutumance de l'occupant dans un local donné impliquant des processus cognitifs tels que la mémoire, l'apprentissage et l'anticipation. Cette boucle est en partie imbriquée dans la boucle du comportement puisque celui-ci est le résultat de la perception réelle de l'environnement par l'occupant, cette perception étant elle même dépendante des processus cognitifs mis en jeu. La modélisation du confort thermique passe ainsi à travers la modélisation du comportement de l'occupant dans un local lui offrant une certaine opportunité d'actions,

faisant intervenir ainsi une structure comportant un grand nombre de variables de natures diverses et s'influençant mutuellement à travers des relations bouclées.

La modélisation du comportement humain est complexe et fait intervenir divers domaines des sciences humaines (psychologie, anthropologie, psychosociologie, et neurobiologie). Dans une étude sur les dynamiques de la motivation, Karsky [3] a développé un modèle de simulation des comportements dynamiques des processus de motivation. Ce modèle appelé MODERE utilise cinq boucles de régulation spécifique pour modéliser le comportement d'un acteur humain soumis à une opportunité d'actions donnée de la part de son environnement (action proposée). Il se base essentiellement sur la notion de la différence entre but et réalisation en comparant la satisfaction obtenue avec les aspirations correspondantes. De la même façon peut être modélisé le comportement de l'occupant dans un local dont la motivation sera un meilleur confort thermique. Dans ce cas, deux boucles sont nécessaires pour décrire le comportement adaptatif de l'occupant : la boucle de réalisation et la boucle d'anticipation.

La boucle de réalisation : écart désir-réalité

Cette boucle permet de décrire le processus motivationnel en fonction de la satisfaction des aspirations ou des besoins. L'occupant, étant un être humain thermorégulé, a des besoins physiologiques thermiques à satisfaire. Cette boucle permet de prendre en compte la régulation comportementale de l'occupant qui sera motivé à prendre une action dans un environnement lui proposant un certain nombre d'actions pour avoir en résultat des conditions thermiques plus satisfaisantes. Cette boucle stabilisatrice est déclenchée lorsqu'un écart est détecté entre la situation réelle et les aspirations (ou les besoins). La satisfaction actuelle de l'occupant est représentée par la variable « sensation thermique perçue ». La préférence thermique de l'occupant est utilisée comme variable pour représenter l'écart entre l'aspiration et le réel. En effet, la préférence thermique de l'occupant exprime ses aspirations, elle est le mobile de toute action et le moteur du processus motivationnel (figure 2).

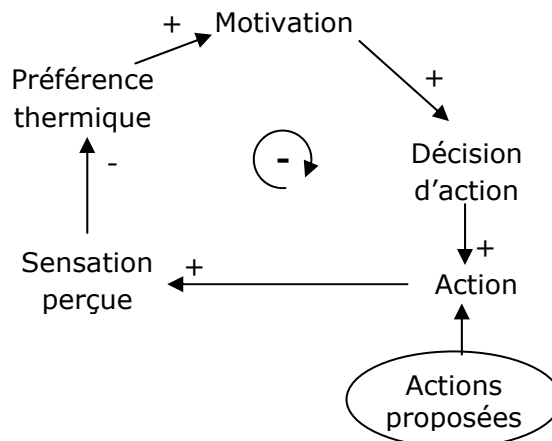


Figure 2 - La boucle de réalisation du processus motivationnel relatif au confort thermique.

La boucle d'anticipation : écart espéré-réel

Cette boucle permet de modéliser les attentes de l'être humain qui est perçu comme un acteur conscient des conséquences futures possibles, espérées ou promises, de ses actions, en anticipant par la pensée les résultats probables au regard des buts poursuivis [Donnadieu, 2002]. Ainsi, à l'action qui sera effectivement réalisée correspond une action anticipée qui devrait engendrer un résultat espéré qui se cumulera en une satisfaction espérée. Celle-ci est à chaque instant comparée à la satisfaction effective (situation réelle), le résultat de comparaison génère plus ou moins d'intérêt à l'action

proposée. Cet intérêt à agir va influencer sur la décision d'action, laquelle déterminera l'action effectivement réalisée en réponse à l'action proposée. Cette boucle permet de prendre en compte l'aspect psychologique de l'adaptation à travers les attentes. La sensation thermique perçue est utilisée comme avant pour représenter la satisfaction réelle, l'écart avec la satisfaction espérée est représenté par la variable « acceptabilité thermique ». Par contre l'intérêt à l'action ici, par différence à la motivation, dépend fortement de l'environnement objectif dans lequel se trouve l'occupant (la liste des actions proposées). Pour cela, il faut introduire dans la boucle la variable « opportunité adaptative », déterminée à partir de la liste des actions proposées, pour déterminer l'intérêt à l'action en combinaison avec l'acceptabilité thermique. Cet intérêt va influencer sur la décision d'action, laquelle déterminera à partir de la liste des actions proposées, l'action effectivement réalisée (Figure 3).

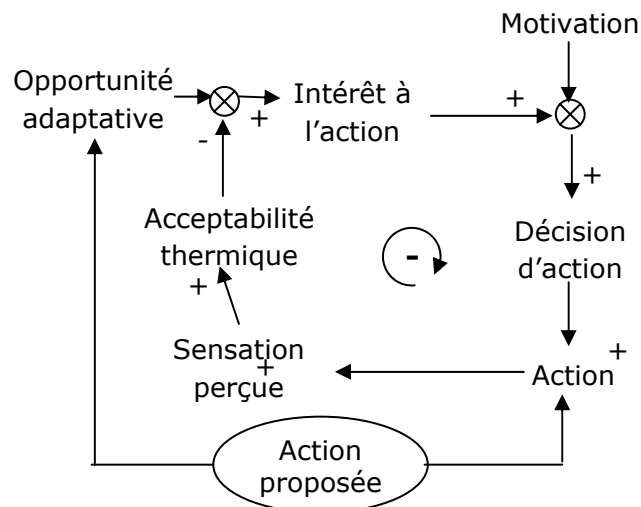


Figure 3 - La boucle d'anticipation du processus motivationnel relatif au confort thermique.

La dynamique du comportement de l'occupant - AdOCC

La figure 4 présente la structure des interactions entre l'occupant, le bâtiment et l'environnement extérieur. L'environnement extérieur, considéré sous son aspect climatique, représente l'environnement macroscopique avec lequel le système bâtiment échange matière, énergie et/ou information. Il permet de prendre en compte le contexte climatique qui pourra influencer la relation entre l'occupant et le bâtiment (perception du confort thermique). Le schéma global du diagramme causal est complété en introduisant les deux boucles de régulation. Ensemble, ces deux boucles déclenchent les processus décisionnels qui permettent à l'occupant d'entreprendre une action dans son environnement en fonction de son état de confort thermique. Elles permettent notamment la modélisation du comportement de l'occupant face à une situation d'inconfort. Les deux boucles peuvent être considérées comme un sous-système qui représente les interactions adaptatives entre l'occupant et le bâtiment. Ce sous-système qui a été développé dans le cadre de ce travail est désigné par « AdOCC » (Adaptation de l'Occupant – Confort – Comportement) [4].

A travers les deux boucles de régulation, AdOCC permet d'explicitier les processus décisionnels relatifs aux mécanismes d'adaptation. Les variables composant AdOCC ont été toutes définies, et les relations causales reliant les variables entre elles ont été quantifiées en utilisant les résultats d'une étude expérimentale in situ menée dans plusieurs bâtiments de bureaux [5]. Ceci a permis d'écrire le code de calcul pour AdOCC afin de l'intégrer dans un outil de calcul dynamique débouchant sur les simulations.

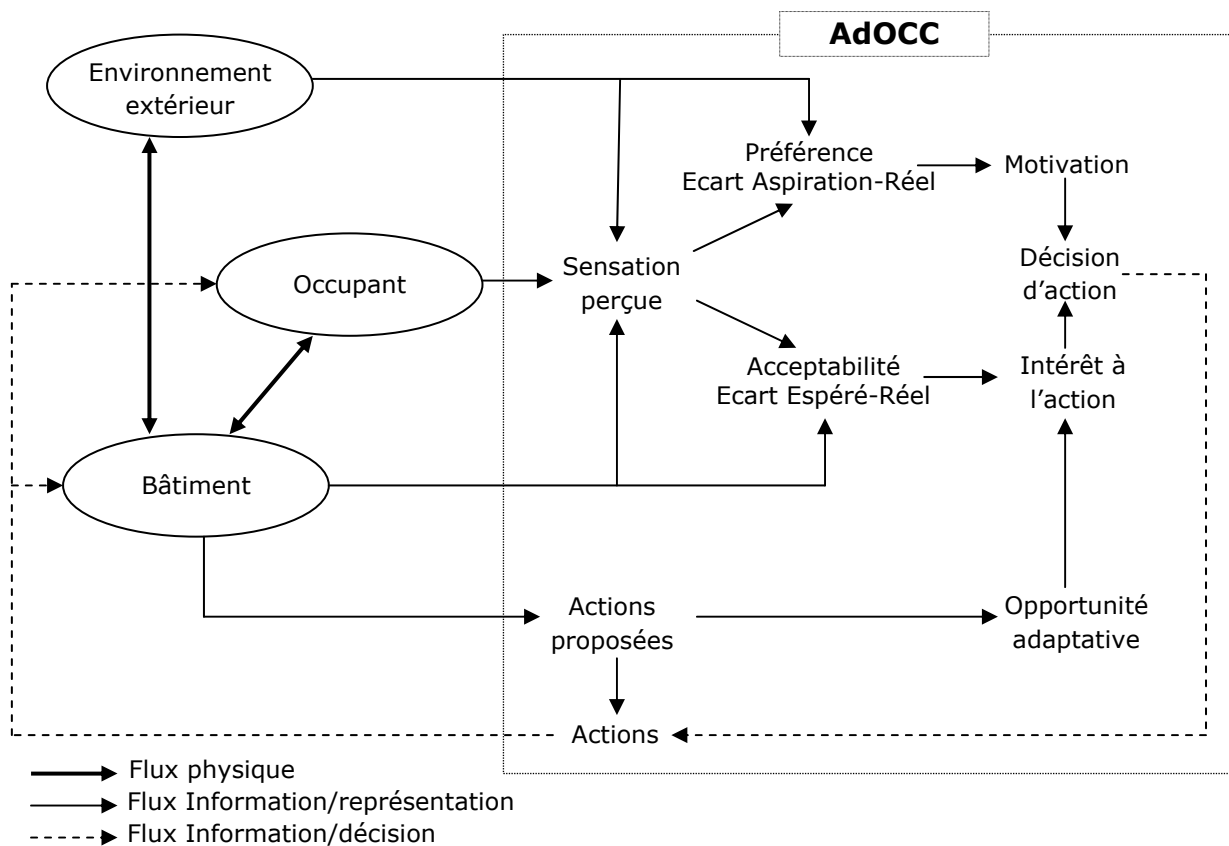


Figure 4 - Le diagramme causal de la dynamique du confort thermique

Intégration de AdOCC dans un outil de simulation

L'objectif de ce travail de modélisation n'est pas uniquement de modéliser le comportement dynamique du confort thermique mais aussi d'analyser l'influence du niveau du confort thermique sur la consommation d'énergie dans le bâtiment. Pour cela, AdOCC a été intégré dans un outil de simulation dynamique permettant de modéliser et de simuler les systèmes thermiques, notamment le bâtiment. L'outil utilisé est TRNSYS16. Ce n'est pas un logiciel dédié uniquement à l'étude du comportement thermique du bâtiment, il est plutôt un solveur de systèmes d'équations capable de réaliser des simulations dynamiques. Il est basé sur une approche modulaire et permet de créer de nouveaux modèles et d'y intégrer en plus ceux de la bibliothèque. La bibliothèque contient quelques 50 familles de composants permettant de simuler, en régime transitoire, les bâtiments (mono- ou multizonal), les systèmes de chauffage et de climatisation. Il permet aussi d'appeler des programmes écrits dans MATLAB et de les coupler avec les autres modules. Ainsi le code de calcul de AdOCC a été écrit dans MATLAB en vue de l'intégrer et le coupler avec les différents modules de TRNSYS16, notamment avec le module qui permet la modélisation d'un bâtiment multizonal. La figure 5 explicite le principe de l'assemblage de AdOCC avec les autres composants dans TRNSYS16.

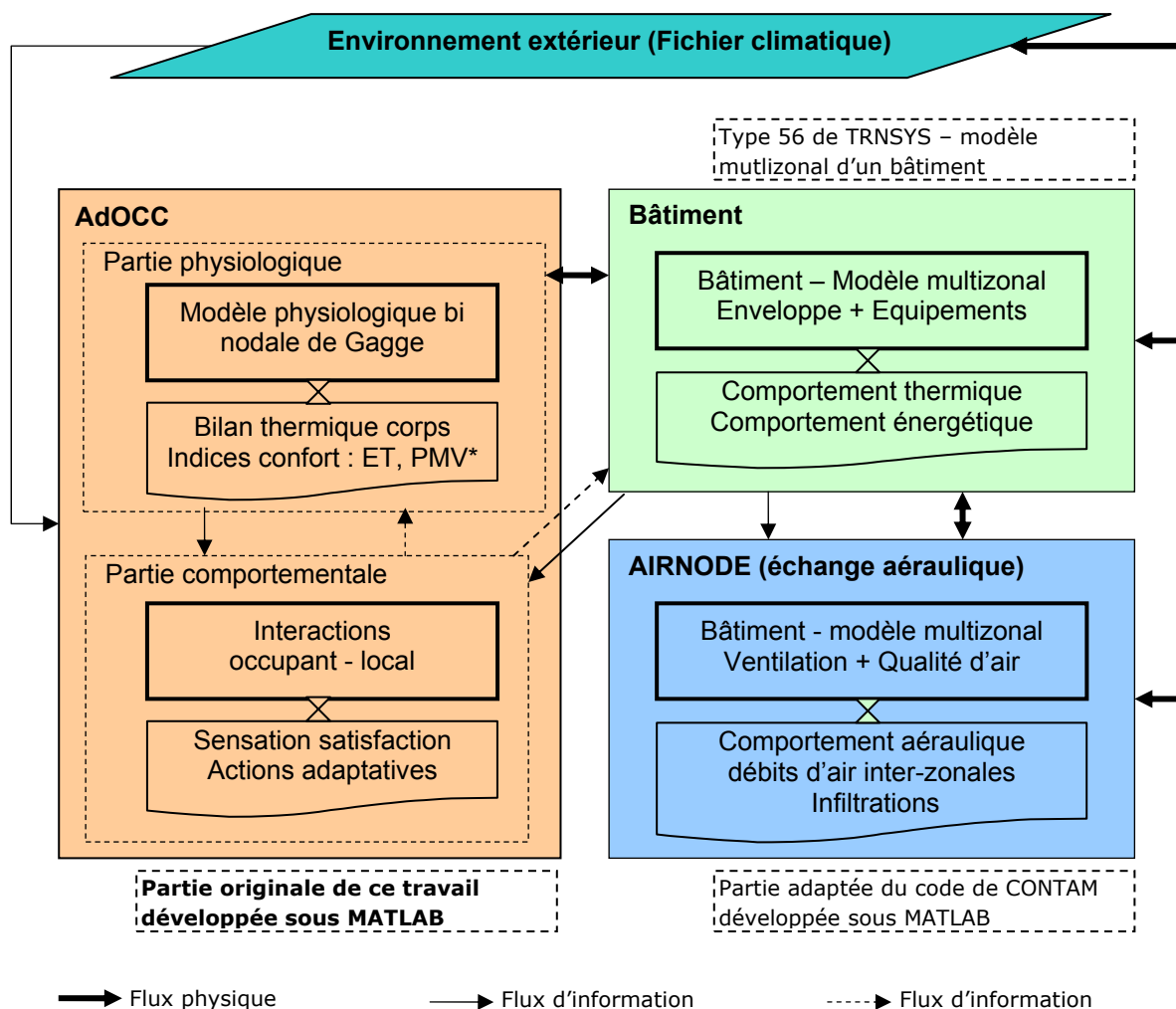


Figure 5 - Schéma global de l'intégration de AdOCC dans TRNSYS16.

Evaluation de AdOCC par les simulations

AdOCC est un outil qui permet de modéliser le comportement adaptatif de l'occupant. Il permet de simuler en mode dynamique le confort thermique d'un occupant dans un local naturellement ventilé à travers les interactions physiques, physiologiques et comportementales. En l'implantant dans TRNSYS, il est possible de simuler la dynamique des comportements thermiques du local et de l'occupant tout en déterminant le niveau de confort et les consommations énergétiques qui en résultent.

Pour évaluer AdOCC, deux bureaux ont été tirés de l'étude expérimentale in situ pour les simuler. La confrontation entre les résultats des mesures et des simulations permet de tester la capacité de AdOCC à modéliser le confort thermique ressenti par les sujets in situ.

Présentation du local simulé

Le local choisi est un bureau administratif situé dans un bâtiment sur le campus de l'ENTPE à Vaux-en-Valin. Il a été enquêté pendant les campagnes de mesure en août 2004 et mars 2005. Des mesures ponctuelles des grandeurs physiques de l'ambiance thermique ont été réalisées sur les cinq jours consécutifs d'une semaine de travail parallèlement aux questionnaires de confort sur la sensation thermique perçue (réelle).

Le bureau est occupé par deux personnes, mais pendant la période de mesure une seule personne était présente. D'un volume parallélépipédique (6.2m de largeur, 4.9m de profondeur et 2.6m de hauteur), une façade largement vitrée orientée au sud ouest, et doté de trois fenêtres battantes, assure la communication avec l'environnement extérieur. Un système de store extérieur en toile contrôlé manuellement assure la protection solaire. Chaque occupant possède un accès direct à une fenêtre à sa proximité. Un ventilateur local disponible pour chaque occupant. En ce qui concerne les actions adaptatives possibles dans le local, l'occupant possède un accès libre à la fenêtre, au store et à l'éclairage. Il peut ajuster sa vêtue, et possède un ventilateur local à disposition. Ces différents éléments sont à proximité de l'occupant et se contrôlent manuellement.

Résultats des simulations

A part la confrontation avec la mesure, AdOCC est aussi comparé à un modèle analytique. Pour cela, deux simulations ont été réalisées: une première avec AdOCC et une deuxième sans AdOCC. La première simulation qui inclut AdOCC détermine le niveau de confort en tenant compte du comportement adaptatif de l'occupant (actions sur fenêtre, store, vêtue, ventilateur, éclairage). La deuxième qui est réalisée sans AdOCC, considère l'occupant comme figé dans le temps.

La figure 6 présente les deux courbes de température d'air obtenues par simulations (avec et sans AdOCC) ainsi que celle issue des mesures. Les deux courbes obtenues par simulations suivent bien la dynamique de la température mesurée, mais l'écart par rapport aux mesures est plus important dans le cas de la simulation sans AdOCC. En effet, la température d'air simulée sans AdOCC dépasse celle des mesures sur toute la période de simulation. La moyenne des écarts absolus entre la mesure et la simulation sans AdOCC est de 1.2°C, et l'écart entre les maxima dépasse 2°C. En revanche, la moyenne des écarts entre la mesure et la simulation avec AdOCC est égale à 0.6°C. De plus, la courbe de température simulée avec AdOCC s'insère globalement dans le fuseau d'erreur du capteur de température d'air utilisé pour les mesures (0.5°C). L'utilisation de AdOCC a ainsi permis de rapprocher la courbe de la température simulée par rapport à celle obtenue par mesures.

La figure 7 présente une comparaison entre la sensation thermique prévue par les simulations (avec et sans AdOCC) et celle perçue par le sujet (enquête). Le vote de sensation est mesuré sur échelle allant de -3 à 3 (-3 = très froid, -2 = froid, -1 légèrement froid, 0 = neutre, +1 = légèrement chaud, +2 = chaud, +3 = très chaud). Le vote issu de l'enquête est représenté par des points sur le graphe, étant obtenu d'une façon ponctuelle au cours d'une journée. Ceux de la simulation sont représentés par des courbes continues qui montrent la dynamique du confort thermique au cours de la journée en fonction des conditions thermiques et des actions engagées par l'occupant (pour le cas de AdOCC).

Les valeurs du vote de sensation prévue par la simulation avec AdOCC correspondent parfaitement à celles de l'enquête pendant les deux premiers jours de la semaine ainsi qu'au dernier jour. Pour les deux autres jours, l'écart est de l'ordre de un point sur l'échelle de vote. Pendant ces deux jours, AdOCC prévoit une sensation légèrement chaude au moment de la mesure, alors que le sujet éprouve une sensation de neutralité. Pourtant la température d'air n'est que légèrement inférieure par rapport aux jours précédents, elle reste proche de 30°C. En revanche, la simulation sans AdOCC prévoit des sensations thermiques qui dépassent celles qui sont perçues sur les cinq jours de la semaine. Cet écart est deux fois plus important par rapport à celui obtenu avec AdOCC pour les deux jours au milieu de la semaine. L'utilisation de AdOCC a ainsi permis de mieux rapprocher la sensation thermique prévue par la simulation à celle perçue par le sujet pendant l'enquête, alors que la simulation en mode statique (sans AdOCC) la surestime.

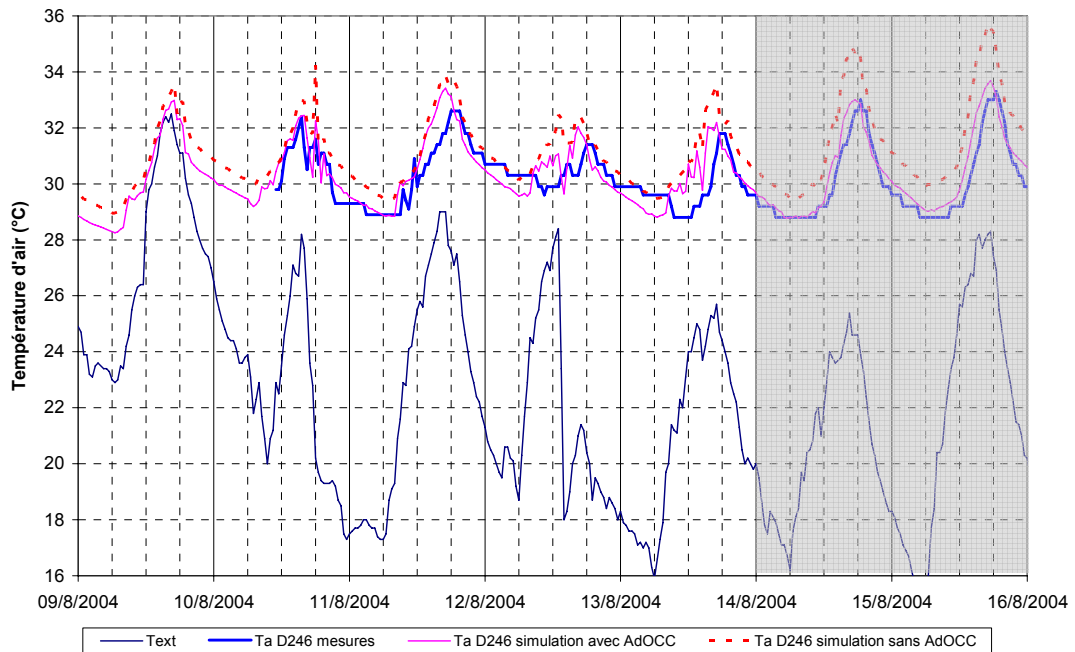


Figure 6 – Comparaison entre les courbes de température issues des simulations et de la mesure.

Pour mettre en évidence l'intérêt de AdOCC, les conditions de confort dans un bureau naturellement ventilé en conditions estivales sont étudiées tout en tenant compte des dépenses énergétiques. Les simulations en mode dynamique avec AdOCC montrent que pour le pourcentage de temps de confort peut être doublé par rapport aux simulations sans AdOCC.

Selon l'inertie thermique, l'orientation, la protection solaire et le climat, le confort peut être obtenu en été pendant plus de 80% du temps d'occupation en utilisant un ventilateur local ou la ventilation nocturne, sans avoir recours à la climatisation. L'utilisation du ventilateur correspond à une consommation de l'ordre de 10 W/m²/jour et la ventilation nocturne 30 W/m²/jour. Ces valeurs sont négligeables devant les consommations de climatisation qui peuvent être 10 fois plus importantes.

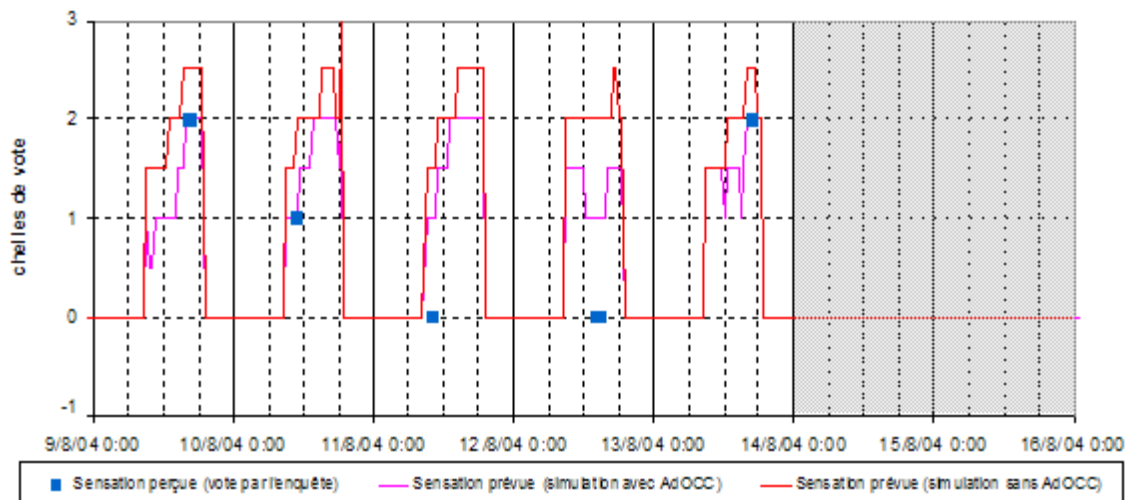


Figure 7 – Comparaison entre la sensation thermique prévue par les simulations et celle perçue par le sujet (enquête) dans le bureau D246 pendant la 2^{ème} semaine du mois d'août 2004.

Conclusion

En adoptant une démarche systémique, il est possible de modéliser le confort thermique via deux boucles de rétroaction qui tiennent compte d'une façon dynamique du comportement adaptatif de l'occupant. Ces deux boucles servent à déterminer les actions adaptatives de l'occupant en fonction de son état thermique et des actions disponibles dans le local. Un modèle en dynamique des systèmes a été développé sur le confort thermique. Le modèle, appelé AdOCC, comporte deux parties : la première partie permet de caractériser l'état thermique de l'occupant et la deuxième permet de simuler le comportement adaptatif de l'occupant. Il peut être intégré dans un outil de simulation dynamique faisant intervenir la notion de temps.

Le code numérique de AdOCC, a été écrit dans MATLAB, puis il a été implanté dans l'outil de simulation dynamique TRNSYS qui utilise une approche modulaire avec une large bibliothèque thermique. AdOCC a été ainsi couplé avec le module de modélisation du comportement thermique et énergétique des bâtiments de TRNSYS. Ce couplage permet de mettre en œuvre les boucles rétroactives traduisant le comportement adaptatif de l'occupant. Il est ainsi possible de simuler les actions adaptatives de l'occupant en fonction des conditions dans le local, et de déterminer en conséquence l'influence de ces actions sur la perception thermique du local ainsi que sur les dépenses énergétiques.

Le principal apport de AdOCC, par rapport à un modèle analytique réside dans sa capacité à représenter le confort thermique non seulement comme conséquence d'une exposition passive de l'occupant aux conditions physiques de son environnement, mais aussi en tenant compte des actions rétroactives de l'occupant. En effet, celui-ci peut modifier ces conditions physiques via son comportement adaptatif qui est pourtant souvent négligé.

A travers les simulations réalisées avec un bureau extrait de l'expérimentation, AdOCC a permis de rapprocher les valeurs simulées de la température d'air et de la sensation thermique de celles issues de l'expérimentation in situ. Cela est mis en évidence à travers les simulations réalisées en mode statique sans AdOCC. Les résultats de ces simulations montrent que la sensation prévue en mode statique surestime considérablement les valeurs trouvées dans l'expérimentation dans les bureaux naturellement ventilés en été (deux fois en plus par rapport à AdOCC), et les sous-estiment en hiver.

Références

- [1] R. Cantin, B. Moujalled, G. Guarracino. «Complexité du confort thermique dans les bâtiments», *Res-systemica Revue Européenne de Systémique [en ligne]*, vol. 5, 2005. Disponible sur : <<http://www.afscet.asso.fr/>>
- [2] P. Michel. *Domotique et Habitat : Essai de lecture systémique*. Thèse Méthodes de Conception en Bâtiment et Techniques Urbaines. INSA de Lyon, Lyon, 1994, 133 p.
- [3] G. Donnadieu, M. Karsky. *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Liaisons, 2002, p. 272.
- [4] B. Moujalled, *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés*, Thèse Génie Civil, INSA de Lyon, Lyon, 2007, p. 329.
- [5] B. Moujalled, R. Cantin, G. Guarracino. «Comparison of thermal comfort algorithms in naturally ventilated office buildings», *Energy and Buildings*, vol. 40, Issue 12, 2008, p. 2215-2223.