

## Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec-

Houda M'Sellem\* et Djamel Alkama

Département d'Architecture, Faculté des Sciences et de la Technologie  
Université Mohamed Khider, B.P. 145, Biskra, Algérie

(reçu le 24 Juin 2009 – accepté le 25 Septembre 2009)

**Résumé** - *Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même. Ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier. Cette appréciation est différente selon la société et pour une même société suivant les individus. Des chercheurs commencent à défier l'hypothèse d'universalité, et à discuter que le fait de ne pas prendre en compte les dimensions culturelles, sociales, économiques et climatiques dans l'évaluation du confort, conduit à une exagération dans la définition des besoins pour le chauffage et la climatisation, c'est grâce à l'application universelle des outils d'évaluation du confort thermique qu'un inconfort thermique important est perçu par les sujets considérés. De ce fait, il n'existe pas de combinaison parfaite de conditions de confort du moment que celles-ci ne sont pas forcément reliées au contexte, qu'il y'a interaction entre les sensations et différence d'appréciation d'un individu à un individu, et d'une société à une autre. Toutefois, les définitions théoriques de la notion de confort s'accordent toutes sur l'importance du confort thermique. Celui-ci constitue le sujet du présent article. En effet des travaux récents sur la notion de confort adaptatif mettent en avant les variations du lieu et du temps individuelles, conduites par des stratégies personnelles qui peuvent être d'ordre physiologique, psychologique, social, culturel et comportemental. A l'inverse des réponses physiologiques qui peuvent être mesurées de manière objective, la détermination des réponses subjectives des sens dépend de la propre évaluation de la personne soumise à un environnement donné. Cette évaluation n'est pas unique, mais varie avec les individus, et également pour un même individu selon différentes périodes. Entre objective et subjective la détermination de la notion du confort thermique et la finalité du travail est d'arriver à améliorer la méthode d'évaluation du confort thermique par l'analyse des différents paramètres intervenants quantitativement et qualitativement. Donc, l'accent sera mis sur l'évaluation réelle du confort thermique dans les lieux de travail de différents types et d'une zone concernée par un climat extrême, dans le but d'adopter des solutions accessibles aux architectes, avec des moyens qui leur sont familiers.*

**Abstract** - *Comfort is a global concept: heat, cold, light, noise, landscape, water, greenery, prestige and others, are several elements illustrating different climatic, aesthetic and psychological parameters of comfort. Comfort is also a subjective feeling which does not exist lonely. It is only by discomfort that one can appreciate comfort. This appreciation is varying in different groups and from an individual to another in the same community. Researchers start to reject the theory of universality. According to them, non-consideration of cultural, social, economic and climatic dimensions in the evaluation of comfort, leads to an exaggeration in the calculation of the heating and air-conditioning needs. Often, a significant thermal discomfort is perceived by subjects, because of a*

\* arcauh25@yahoo.fr, dj.alkama@voila.fr

*universal application of the thermal comfort evaluation methods [1]. So there is no perfect combination of comfort conditions since those are not related with the context. This relation of the feelings and differences of appreciation vary between individuals, and from a community to another. However, the theoretical definitions of the comfort concept agree all on the importance of thermal comfort. This one constitutes the subject of this study. Indeed, recent works on the concept of adaptive comfort proposes the individual variations according to place and time, conducted by personal strategies, which can belong to physiological, psychological, social, cultural and behavioral nature. In inverse of the physiological answers, which can be measured in objective ways, the determination of the subjective answers depends of the self evaluation of the person in interaction with a given environment. This evaluation is not single but varies with the individuals, and also for the same individual according to various periods [2. 3]. Between objective and subjective, the finality of this work is the determination of the thermal comfort notion and to improve the evaluation method of thermal comfort by the analysis of the various intervening parameters quantitatively and qualitatively [1]. With an approach under 'single condition' with regard to the thermal comfort of the interior environments, significant cultural, social and contextual factors are ignored and can lead to an exaggeration of the needs for air-conditioning [4]. Therefore, the focus will be on the strategies of real thermal comfort evaluation in office buildings of various types and in a zone concerned by an extreme climate, with an aim of adopting accessible solutions for the architects, with an easy to understand method.*

**Mots clés:** Bioclimatisme - Ambiances physiques de l'environnement - Confort thermique - Confort de travail - Stratégies d'évaluation du confort thermique - Techniques d'analyse bioclimatiques - Indices thermique - Simulation thermique - Ré-humanisation - Perception - Climate Consultant 04.

## 1. INTRODUCTION

L'intérêt au bien-être de l'homme est un sujet soulevé et approché par de multiples disciplines. Cet intérêt se fonde sur les rapports d'échanges qu'entretient l'homme avec son environnement, que ce soit naturel ou construit. La relation entre le comportement humain et les variables physiques de l'environnement fait l'objet d'étude privilégié de la psychologie écologique, dont les travaux servent encore de référence obligée. Les recherches effectuées dans ce sens relèvent de la psychologie, de la sociologie, de la biologie et de l'architecture.

Depuis la fin des années 60, l'humanité a pris conscience qu'elle vivait dans un monde clos: ('le vaisseau spatial terre') aux ressources limitées. Après les cris d'alarme de quelques trop rares visionnaires, la révélation de la catastrophe de *Minamata* au Japon (intoxication mortelle due à la concentration marine de mercure) et les premières marées noires ont rendu concrets les risques que la révolution industrielle entamée, 150 ans plus tôt, pouvait faire courir à notre santé et à ce que l'on commençait à appeler notre environnement. La première conférence internationale sur l'environnement de Stockholm en 1972 apparaît comme symbole de cette *prise de conscience*.

Un an plus tard, le premier choc pétrolier illustre, à son tour, un autre problème, trop souvent éludé malgré les avertissements que synthétisait le premier rapport du 'Club de Rome': l'épuisement des ressources était bien une réalité même si, en l'occurrence, il s'agissait d'un problème d'approvisionnement d'énergie lié à des considérations géopolitiques.

A travers ces deux aspects, celui des ressources finies et celui des risques liés à une démographie incontrôlée, surtout dans les pays de tiers monde, c'est la gestion de la planète et de ces écosystèmes que l'homme se doit de mettre en œuvre.

Les pays en développement, et en particulier ceux qui sont concernés par des climats extrêmes, sont les premiers intéressés. Dans certaines régions, l'énergie est un luxe:

- le réseau électrique n'existe pas.
- l'approvisionnement en énergies fossiles (fuel ...) est irrégulier et coûteux.
- la collecte du bois combustible -s'il est présent- monopolise des heures de travail et dégrade fortement un environnement souvent fragile.

Par ailleurs, les grandes mutations économiques et sociales des dernières décennies ont entraîné une accélération du développement jamais égalée. La rapidité avec laquelle nous sommes en mesure de planifier et de réaliser des urbanisations et architectures nouvelles 'clé en main' ont permis des transformations importantes de la ville sous tous ses aspects notamment: culturel, social, urbanistique, et surtout architectural.

Les pays du tiers monde (nouvellement libérés et en voie de développement) situés en majorité dans des régions à climat chaud, sont les plus concernés par ces changements. Cette situation engendre:

- l'importation des modèles d'urbanisme et d'architecture inadaptables aux caractéristiques socioculturelles locales et aux identités humaines.
- la non considération des modèles architecturaux locaux mieux adaptés aux données géo climatiques spécifiques à ces régions.

*'Les techniques de contrôle artificiel du climat intérieur par l'adjonction d'énergie ne contraignent plus à un choix de réfléchi du site et de l'orientation judicieuse, quant au soleil, au vent et à l'humidité. Il aura toutefois suffi de deux petites crises pétrolières et d'un accident nucléaire pour que notre manière de penser se trouve, sinon ébranlée tout au moins alertée', (Meiss, 1995).*

Tout bâtiment s'inscrit dans un environnement avec lequel il interagit et entretient un ensemble plus ou moins harmonieux de relations. La prise en compte du climat se place au cœur de ce dialogue entre l'architecture et son environnement dans un souci de création d'espaces de vie qui évoluent au fil des heures.

L'architecture climatique ou le bioclimatisme concrétise cette volonté d'accorder une juste place au climat parmi les dimensions fondamentales de l'architecture. Elle replace l'acte d'occuper un bâtiment dans un contexte dynamique, où l'enveloppe (au sens large) du bâtiment est considérée comme une troisième peau, après la nôtre et les vêtements, qui joue le rôle de médiateur entre le climat extérieur et une ambiance intérieure.

Ainsi, un bâtiment bioclimatique présente des aspects largement positifs, tant sur la sensation et la perception de confort des occupants, que sur la consommation d'énergie.

*'Pour Vitruve et plus tard les théoriciens de la renaissance (Alberti, Filarete, Martini, Serlio, ..., Palladio), les œuvres de l'antiquité sont la première référence, moins en tant que fragments de l'histoire, qu'en tant que modèles à suivre'. (Meiss, 1995).*

De tout temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort et économiser l'énergie dans son endroit. Dans l'architecture traditionnelle et vernaculaire, la forte inertie de la structure liée aux matériaux de construction locaux (tels que la brique de terre, la pierre, le bois, ...), l'épaisseur des murs et les petites ouvertures

faisaient de ces dispositifs architecturaux et techniques une partie intégrante dans la conception de ces bâtiments.

Ces techniques permettent d'assurer que de tels gains ou pertes de chaleur soient bénéfiques aux occupants, en créant des conditions de confort physique et psychologique désirées, tout en limitant le recours aux systèmes mécaniques de chauffage et de climatisation.

Par conséquent, une consommation excessive d'énergie épuise les ressources fossiles de la terre et produit des résidus nuisibles pour l'environnement.

Pour le bâtiment (secteur résidentiel et tertiaire), le concepteur devra donc assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

## 2. CONSTATS DU PROBLEME

*Le confort* est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. *Le confort* est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même. Ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier. Cette appréciation est différente selon la société et pour une même société suivant les individus.

De Dear et Brager rapportent que, selon Kempton, des chercheurs commencent à défier l'hypothèse d'universalité, et à discuter que le fait de ne pas prendre en compte les dimensions culturelles, sociales, économiques et climatiques dans l'évaluation du confort, conduit à une exagération dans la définition des besoins pour le chauffage et la climatisation, c'est grâce à l'application universelle des outils d'évaluation du confort thermique qu'un inconfort thermique important est perçu par les sujets considérés.

Les études sur l'architecture traditionnelle et leur adaptation au climat chaud sont jusqu'à présent nécessaire pour répertorier l'ensemble des techniques traditionnelles passives de régulation thermique.

Pour l'analyse bioclimatique et la détermination des zones du confort et les techniques correspondantes; des diagrammes bioclimatiques et des indices thermiques ont été établis résultants d'études sur la nature des ambiances physiques et naturelles contrôlées de laboratoires.

De ce fait, il n'existe pas de combinaison parfaite de conditions de confort du moment que celles-ci ne sont pas forcément reliées au contexte, qu'il y'a interaction entre les sensations et différence d'appréciation d'un individu à un individu, et d'une société à une autre. Toutefois, les définitions théoriques de la notion de confort s'accordent toutes sur l'importance du confort thermique. Celui-ci constitue le sujet de la présente étude.

En effet, des travaux récents sur la notion de confort adaptatif mettent en avant les variations du lieu et du temps individuelles, conduites par des stratégies personnelles qui peuvent être d'ordre physiologique, psychologique, social, culturel et comportemental.

A l'inverse des réponses physiologiques qui peuvent être mesurées de manière **objective**, la détermination des réponses **subjectives** des sens dépend de la propre évaluation de la personne soumise à un environnement donné. Cette évaluation n'est pas

unique, mais varie avec les individus, et également pour un même individu selon différentes périodes.

Ce sont principalement les recherches de Bedford, 1936, Olgyay, 1950-60, Givoni, 1960-70, (Sharma, 86), etc... qui ont souligné la nécessité de l'évaluation des besoins en confort thermique de différentes zones climatiques (Mazouz, 2002).

Au cours des années, les indices thermiques et les diagrammes bioclimatiques ont été considérés comme techniques universelles applicables pour tous les cas de types de bâtiments; de zones climatiques et des populations différentes. Sans prendre compte que:

- Ces techniques ont été établies dans des laboratoires avec des conditions standards et limitées.
- Les sociétés à travers le monde n'ont pas les mêmes identités socioculturelles ni les mêmes comportements envers leur environnement.
- 'Le diagramme bioclimatique' constitue encore pour beaucoup de personnes une représentation et un vocabulaire communs et il est pratiqué pour une première interprétation qualitative. Mais, sans vouloir critiquer les précurseurs dont le travail doit être situé dans son contexte, nous pouvons observer les limites de ce diagramme:
  - les contours des zones sont quantitativement discutables;
  - les zones n'ont de sens que sous certaines conditions climatiques que le diagramme ne fait pas apparaître;
  - une hypothèse sur les apports solaires nuls, alors qu'ils peuvent être déterminants, éliminent du diagramme un paramètre essentiel du climat;
  - enfin en rapport avec les deux premières observations, il est illogique de devoir en fait connaître (par le calcul) une possibilité d'être situé dans une zone, pour savoir si on y est, d'après le diagramme bioclimatique. Ce dernier n'est en fait vraiment utilisable quantitativement que pour des climats bien spécifiques ou l'architecture y est déjà bien étudiée, par exemple les climats méditerranéens.
- Ceci a permis de s'intéresser à un problème mentionné dans différentes études: Evans-1980, Szocholay-1980, Fardeheb-1980, et récemment soulevé par des chercheurs tels que (N Baker, J.F. Nicol, I.A. Raja, M.R. Sharma) (Benhamouda, 2001), et par des organismes, tels que: I.S.O/ International for Standardisation Organisation à Genève/, A.S.H.R.A.E/ American Society for Heating and Air Conditioning Engineers/, G.R.A.P/ le Groupe de Recherche en Ambiances Physiques/ A.B.C. laboratoire, etc....

Au cours de la collecte des informations, une certaine incohérence a été remarquée entre les résultats du confort thermique calculés par les diagrammes bioclimatiques et les indices et le confort réel perçu par les individus dans des climats différents aux conditions du laboratoire.

Ce problème consiste en une évaluation approximative et imprécise du confort thermique calculé par les diagrammes bioclimatiques et les indices thermiques et en conséquence l'inadaptation des techniques d'analyse bioclimatique à tous les climats et à toutes les sociétés pour l'analyse du confort réel dans les habitations.

Mais, il est proposé de s'intéresser à l'analyse de la perception du confort pour une meilleure estimation proche de *la notion sensorielle* de ce dernier surtout dans des

bâtiments et équipements stratégiques, tels que les lieux de travail, les établissements scolaires, les bureaux, les usines et tout ce qui est non résidentiel.

Cette étude consiste à évaluer, pour un espace de travail, les qualités thermiques perçues par les occupants aux mesures des conditions thermiques réelles. De plus, cette recherche permettra d'établir la relation entre la perception du confort thermique et le niveau de son évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique sur les mêmes conditions environnementales.

Donc, l'accent sera mis sur l'évaluation réelle du confort thermique dans les lieux de travail de différents types et d'une zone concernée par un climat extrême, dans le but d'adopter des solutions accessibles aux architectes, avec des moyens qui leur sont familiers.

A des échelles différentes, la recherche proposée s'intéresse aux caractéristiques physiques qui contribuent à définir l'ambiance d'un lieu de travail. Par comparaison ou par manipulation de ces caractéristiques physiques de l'ambiance, nous étudions leurs influences sur l'évaluation, la perception, et puis la maîtrise du confort hygrothermique des espaces concernés.

Cette étude a comme objectif d'allier des approches comportementales, psychophysiologiques et psychologiques à des mesures très fines du cadre physique (mesures climatiques dans les lieux de travail, niveaux de perception du confort dans les lieux de travail). Certaines de ces opérations constituent une interface entre l'architecture, les sciences de l'ingénieur, les sciences humaines, et les neurosciences.

Ces collaborations devraient déboucher sur des résultats utiles aux architectes dans la conception des lieux de travail offrant une meilleure qualité de confort et d'agrément pour les usagers.

- Traitement des ambiances physiques;
- Sensibilité perceptive et incidences sur le comportement dans les lieux de travail à caractère administratif;
- Perception de l'environnement de travail: ambiance, satisfaction et performance dans plusieurs types de bureaux.

### 3. FAITS ET CHIFFRES

Les salaires sont les seules dépenses dans un immeuble à bureaux qui dépassent de deux ordres décimaux (100 fois) les coûts énergétiques et qui représentent des montants dix fois supérieurs aux coûts de conception et de construction. Il semblerait donc raisonnable que l'on mette en parallèle les avantages d'assurer un milieu de travail confortable et productif et les coûts de conception, de construction, d'exploitation et d'entretien d'un immeuble dont l'environnement intérieur est optimisé.

Même s'il est probablement impossible que les occupants d'un immeuble ne fassent aucune plainte liée à leur milieu ambiant, il existe des moyens peu coûteux de diminuer leur degré de mécontentement, (Indoor Air Quality Update, Août 1989, pp. 13-15, Cutter Information Corp. Ma.).

D'une valeur approximative de 2727 \$ le mètre carré par année [30 000 \$ de salaire moyen, plus 30 % de bénéfices divisés par 14,3 m<sup>2</sup>], les salaires dépassent de loin les coûts d'achat du terrain, de conception et de construction qui se situent à 160 \$/m<sup>2</sup> [16 \$/pi<sup>2</sup>] par année et les coûts de chauffage et de refroidissement, à 15 \$/m<sup>2</sup> par année, (Indoor Air Quality Update, Août 1989, pp. 13-15, Cutter Information Corp. Ma.).

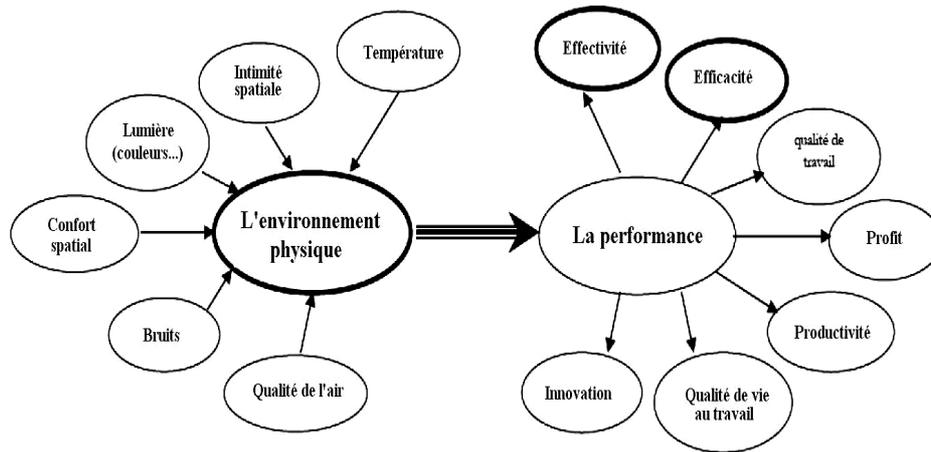


Fig. 1: Composantes de l'environnement physique influant sur la performance et ses indices, Source: auteur, 2007

Alors que les coûts d'achat et d'exploitation d'un immeuble et les coûts des salaires sont tangibles, les pertes ou les gains de productivité ne sont pas aussi faciles à cerner. Il est clair, cependant, qu'une petite diminution de la productivité peut être très coûteuse. Une perte de un 1 % représente presque le double des coûts totaux de chauffage et de refroidissement d'un immeuble.

Sans qu'il ne soit nécessaire de faire des sondages ou des enquêtes sur la productivité, il est évident que le fait de travailler dans des conditions médiocres ou, même, dans un bâtiment qualifié '*d'insalubre*' se répercutera négativement sur la productivité.

Quelle est la productivité de personnes travaillant dans un bâtiment où plus de 35 % d'entre elles se plaignent de leur milieu de travail. Selon une enquête du Ministère du Travail Français et de l'INSEE, 25 % des salariés jugent '**toujours**' ou '**souvent**' trop contraignantes les ambiances hygrothermiques de travail.

La contrainte thermique développe des astreintes physiologiques et psycho-sensorimotrices pouvant être responsables, soit d'un dysfonctionnement, soit d'une sollicitation excessive de l'organisme. (Indoor Air Quality Update, Cutter Information Corp. Ma.).

#### 4. CADRE D'ETUDE

Tout le monde s'accorde aujourd'hui sur l'importance que revêt la qualité de l'ambiance dans les locaux de travail. La première obligation est évidemment de garantir un air intérieur sain afin de protéger la santé du personnel. Mais l'hygiène ne suffit pas.

Le confort est tout aussi indispensable, ne serait-ce que par égard envers les occupants. De plus, une situation d'inconfort (température excessive ou trop basse, courant d'air,...) réduit la vigilance intellectuelle et les aptitudes physiques des opérateurs, ce qui se traduit par une baisse de leur productivité, une réduction de la qualité du travail, voire parfois des erreurs et des accidents.

Toutes les enquêtes médico-sociales effectuées depuis une vingtaine d'années prouvent que de bonnes conditions de salubrité et de confort contribuent sensiblement à la performance globale des entreprises.

Ce sont généralement les problèmes touchés dans les lieux de travail pendant la période caniculaire, et ce qui mène à s'intéresser à l'étude du confort thermique réel dans ces lieux et par conséquent discuter les dispositifs architecturaux et techniques recommandés afin de construire des espaces qui, sans réduire les performances thermiques, sont confortables au plus fort de l'été, sans faire appel à une quelconque technique mécanique de conditionnement.

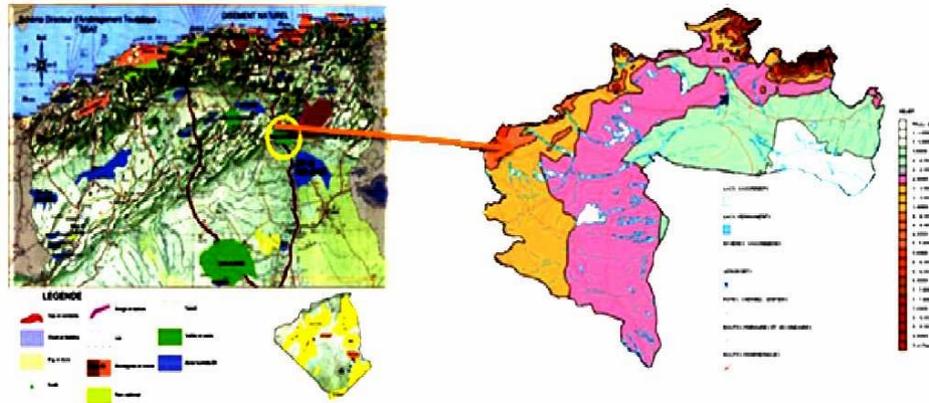


Fig. 2: Carte exprimant la répartition du relief, les réseaux routiers, les réseaux hydrauliques de la micro région

Assurer la qualité de l'ambiance implique de maîtriser dans l'espace et dans le temps, les principaux paramètres qui caractérisent l'air intérieur: pureté, température, humidité, vitesse. A cet égard, les espaces de grand volume et de grande hauteur que l'on rencontre dans l'industrie (ateliers, entrepôts) et dans le tertiaire (halls d'accueil ou d'exposition, salles de spectacle, halls d'aéroports,...), posent aux climaticiens des problèmes techniques spécifiques.

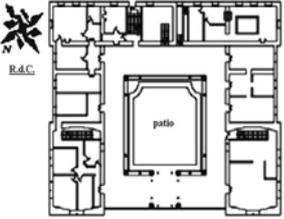
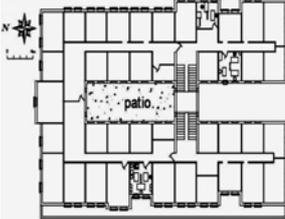
En outre, assainir l'air, le chauffer ou le rafraîchir, le mettre en mouvement dans des volumes importants représente un coût opératoire non négligeable qu'il s'agit de maîtriser.

Pour le contexte de l'étude, la ville de **Biskra**, en Algérie, sera choisie pour sa représentativité des milieux semi-arides à climat chaud et sec dans les pays de Sud.

Ainsi, la ville de Biskra est l'une des régions arides du pays, qui se caractérise par un climat chaud et sec défavorable pour atteindre un confort thermique pendant l'été.

Dans ce cadre, le choix de Biskra comme un cas d'étude nous permet de mesurer la perception du confort dans les lieux de travail -Il s'agit des immeubles de bureaux, comme produit de l'architecture contemporaine, à usage non domestique-, et le comparer par celui évalué par les techniques d'analyse bioclimatiques dans une zone concernée par des climats extrêmes, afin d'adopter des solutions architecturales partielles ou globales pour obtenir par conséquent des recommandation appropriées de telles régions et de tels espaces.

**Tableau 1:** Trois exemples étudiés, Source: Auteur, 2007, [1]

Exemple 1 Siège de l'A.P.C.	Exemple 2 Siège des impôts	Exemple 3 Siège de D.P.A.T.
		
		
Bâtiment colonial '1800'	Bâtiment post-colonial '1960'	Bâtiment récent '1990'

## 5. DESCRIPTION (OBJECTIFS, METHODES, PERSPECTIVES)

L'application des techniques d'analyse bioclimatiques sur tous les cas conduit à une évaluation approximative et imprécise du confort thermique réel perçu par l'occupant des lieux de travail, et par conséquent la proposition de stratégies de régulation thermique inappropriées à la perception réelle de ce confort.

### 5.1 Objectifs

L'objectif de cette recherche qui s'intéresse à l'étude des aspects qualitatifs et quantitatifs du confort thermique en architecture, s'inscrit dans le cadre de la détermination de la notion du confort, dont la finalité du travail est d'arriver à améliorer sa méthode d'évaluation, par l'analyse des différents paramètres intervenants quantitativement et qualitativement. Elle vise à définir des éléments relatifs au confort thermique appropriés aux architectes et à définir des recommandations formulées de façon à ce qu'elles soient exploitables par eux.

Cette problématique a pour objectifs:

- a- Extraire les facteurs de **divergence** et de **convergence** entre le confort thermique perçu par les sujets et celui évalué par les techniques d'analyse bioclimatiques (diagrammes bioclimatiques et les indices thermiques) dans les lieux de travail.
- b- Le rapprochement entre le confort thermique perçu et celui calculé dans les lieux de travail. cet objectif ne peut être acquis que par:

- l'évaluation du confort thermique élaboré par les diagrammes bioclimatiques et les indices thermiques dans des lieux de travail différents à caractères administratifs différents.
  - l'analyse du confort thermique perçu par les usagers des espaces considérés.
- c- La discussion des dispositifs architecturaux et techniques utilisés, afin de promouvoir la construction de type de bâtiments tertiaires plus confortables et moins énergivores dans le but de minimiser le recours à la mécanique de bâtiments.
- d- L'adoption de nouvelles recommandations architecturales et techniques au niveau des lieux de travail dans une zone concernée par un climat extrême et défavorable.

## 5.2 Hypothèses

Dans ce contexte, quatre hypothèses sont émises:

- 1- L'hypothèse principale de cette étude est le confort thermique élaboré par les diagrammes bioclimatiques et les indices thermiques pour un lieu de travail ne répondraient pas aux besoins désirés par les usagers, ni aux données spécifiques des régions à climat chaud et sec.
- 2- L'analyse de la perception du confort thermique exprime les besoins réels en confort dans les lieux de travail à caractère administratif....
- 3- La non concordance entre le confort thermique calculé et le confort réel perçu.
- 4- La généralisation des dispositifs architecturaux et techniques inadaptés pour les zones arides à climat chaud et sec conduit à une évaluation erronée du confort thermique.

## 5.3 Méthodes et techniques de recherche

La méthode de travail est alors basée essentiellement sur le processus classique: observation, hypothèses, vérification par l'expérimentation et l'investigation, résultats, comparaisons et recommandations.

Comme première étape de la vérification des hypothèses, une analyse bioclimatique profonde basée sur les techniques d'analyse bioclimatique classiques, telles que les psychromètres et les abaques d'une part, et la simulation thermique par un logiciel informatique (Climate Consultant 04, 'CC04') d'autre part, dont on peut convertir les résultats quantitatifs obtenus en graphiques pour mieux comprendre les comportements des espaces étudiés puis les comparer avec le confort thermique perçu par les occupants.

La méthode comparative entre les trois cas choisis est appliquée dans les deux parties de recherche: l'analyse bioclimatique et l'analyse de la perception du confort thermique.

Dans la première partie, les techniques usuelles de l'analyse bioclimatique (diagrammes et indices thermiques) sont utilisées à la base des psychromètres classiques et le logiciel de simulation thermique.

Dans la deuxième partie, une méthode expérimentale est utilisée pour l'élaboration du confort thermique perçu. Pour cela la technique utilisée est l'enquête, avec le choix d'un échantillon dans la population et les techniques de mesure de la sémantique et des échelles différentielles.

Une analyse statistique par logiciel va permettre le traitement des informations obtenues par enquête et questionnaire, et la validation des résultats de l'étude comparative entre les deux analyses.

Cependant, et en respect des objectifs de cette recherche, les résultats obtenus par les méthodes de la psychologie environnementale (expérimentations psychosociologiques) ne peuvent être suffisants. Ils constitueront des éléments fondamentaux d'une connaissance sur les comportements de l'occupant dans l'espace architectural en fonction de l'ambiance physique de l'environnement -en particulier l'ambiance thermique-.

Le passage ou plutôt la conversion des données comportementales en données spatiales est la finalité à laquelle veut aboutir cette étude. Il s'agit là de certains paramètres subjectifs où se distingue l'importance de l'occupant (dans tous ses aspects) en premier lieu.

Evidemment, les conditions physiques extérieures (ambiances hygrothermiques) sont aussi importantes pour cette perception. Ainsi, le premier point renvoie la question à des critères purement physiques (d'ordre climatique) alors que le second (celui de l'occupant) à des critères psychophysiques et socioculturels.

## **6. RESULTATS**

### **L'évaluation du confort perçu et sa comparaison avec le confort thermique calculé.**

Dans cette section, une évaluation de la perception du confort en pourcentage sera comparée avec les évaluations du confort obtenues dans les techniques d'analyse bioclimatiques. Les résultats de l'enquête seront comparés avec les températures moyennes enregistrées par la station météo. Et enfin, les moyennes de perception du confort au niveau des lieux de travail seront comparées entre elles.

Donc la procédure de comparaison se fera comme suit:

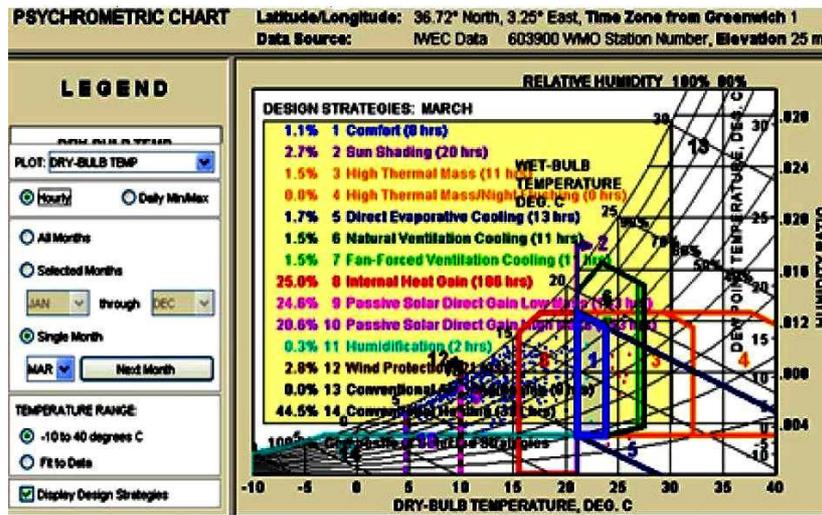
- La comparaison entre les taux de satisfaction du confort thermique global et les limites du confort thermique déterminé par le diagramme psychrométrique de Givoni.
- La comparaison entre l'analyse de l'ambiance thermique perçue obtenue par l'enquête et celle évaluée par la méthode de Novell (méthode de pourcentage).
- La comparaison entre l'analyse de l'ambiance thermique perçue obtenue par l'enquête et celle évaluée par les indices thermiques (PMV et Top).
- La comparaison entre les cas étudiés en terme d'enveloppe, situation et microclimat, orientations, ....

### **6.1 Comparaison entre les taux de satisfaction du confort thermique global et les limites du confort thermique déterminé par le diagramme de Givoni**

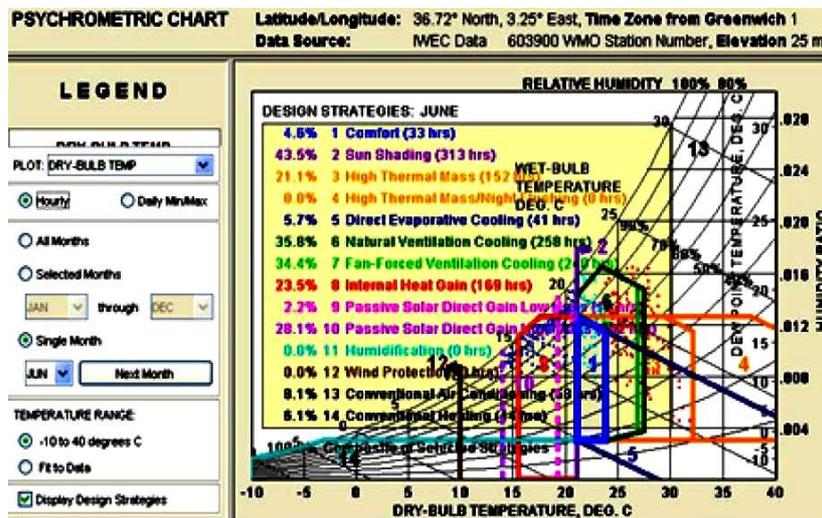
Après l'évaluation du confort thermique dans les cas étudiés, la comparaison entre les taux de satisfaction du confort thermique global et le confort calculé dans l'analyse bioclimatique se fera à la base des pourcentages obtenus par questionnaire -pour la première variable- et par les limites du confort déterminées par le diagramme de Givoni -pour la deuxième variable-.

La mesure de la perception du taux de satisfaction à l'intérieur permet d'évaluer les besoins réels de l'occupant en confort thermique, au lieu des besoins calculés par les diagrammes d'analyse bioclimatiques.

Ainsi, à l'intérieur des bureaux, la satisfaction est évaluée sur une échelle de cinq valeurs '-2 -1 0 +1 +2', qui correspondent respectivement à 'très satisfait, plutôt satisfait, satisfait, plutôt pas satisfait, pas du tout satisfait'.



Mois de Mars



Mois de Juin

Fig. 3: Diagramme psychrométrique de Givoni, pour Mars et Juin tirés de 'CC04'

**Pour le mois de Mars-** Quelques 30 % des jours du mois de mars s'intègrent dans la zone du confort thermique suivant le diagramme de Givoni, tandis que les pourcentages de la perception des taux de satisfaction des occupants est répartie comme suit: 56,60 % des gens jugent leurs bureaux confortables qui coïncident avec la valeur 0 de l'échelle

sémantique d'Osgood, par contre seulement 11,67 % des sujets déclarent leur insatisfaction par la valeur +1 de l'échelle qui correspond le 'plutôt pas satisfait'.

**Tableau 2:** Mois de Mars

Perception	Très satisfait (-2)	Plutôt satisfait (-1)	Satisfait (0)	Plutôt pas satisfait (+1)	Pas du tout satisfait (+2)
(%)	0	31.67	56.60	11.67	0
Diagramme de Givoni	0	40 %	<b>Zone de confort</b>	30 %	0
Nb de Jours			30 %		

**Pour le mois de Juin-** Quelques 35 % des jours du mois de Juin s'intègrent dans la zone du confort thermique suivant le diagramme de Givoni, tandis que les pourcentages de la perception des taux de satisfaction des occupants est répartie comme suit: 10,84 % des gens jugent leurs bureaux confortables qui coïncident avec la valeur 0 de l'échelle sémantique d'Osgood, par contre 45,80 % des sujets déclarent leur insatisfaction par la valeur +1 de l'échelle qui correspond le 'plutôt pas satisfait' et 43,33 % des sujets jugent leur insatisfaction par la valeur +2 de l'échelle.

**Tableau 3:** Mois de Juin

Perception	Très satisfait (-2)	Plutôt satisfait (-1)	Satisfait (0)	Plutôt pas satisfait (+1)	Pas du tout satisfait (+2)
(%)	0	0	10,84	45,80	43,33
Diagramme de Givoni	0	5 %	<b>Zone de confort</b>	35 %	25 %
Nb de Jours			35%		

**6.2 Comparaison entre l'analyse de l'ambiance thermique perçue obtenue par l'enquête et celle évaluée par la méthode de Novell (méthode de pourcentage)**

Après l'évaluation du confort thermique dans les cas étudiés, la comparaison entre le confort perçu par l'occupant et le confort calculé dans l'analyse bioclimatique se fera à la base des pourcentages de la perception de l'ambiance thermique seule obtenus par l'enquête –pour la première variable- et par la méthode de Novell -pour la deuxième variable- tant que la méthode de Novell est basée seulement sur le paramètre 'température' -les température minimales, maximales et moyennes-.

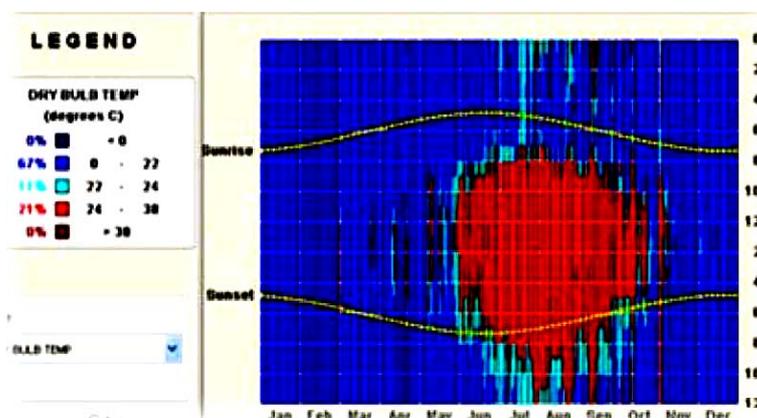


Fig. 4: Time table plot, tiré de 'CC04'

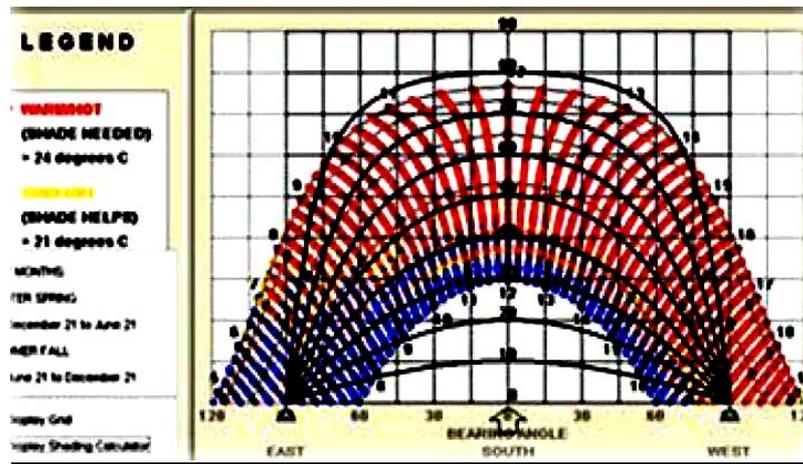


Fig. 5: Sun shading chart, tiré de 'CC04'

**Pour le mois de Mars-** La perception du confort thermique mesurée dans l'enquête est relativement proche au confort thermique calculé (respectivement 37 % et 28 %) avec une différence de 9 %, cependant le 'froid' dure moins longtemps selon la perception des occupants que selon les calculs bibliographiques (24,53 % contre 32 %) avec une différence de 8 %, tandis que la 'chaleur' perçue dure plus longtemps, mais presque égale à celle évaluée par les technique d'analyse bioclimatiques (respectivement 38,47 % et 40 %) avec une différence de 1,53 %.

Tableau 4: Mois de Mars

Perception	Excessivement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Excessivement chaud
Valeur	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
%	0	0	8,63	15,90	37	23,80	5,9	5,9	2,87
$\Sigma$		24,53			37		38,47		
Méthode de Novell		32			28		40		

Les résultats de l'enquête redéfinissent les besoins réels en confort thermique dans les cas étudiés, qui diffèrent sensiblement de ceux des diagrammes bioclimatiques.

Ces différences sont moins importantes pendant le mois de Mars. Elles présentent des distances qui séparent le confort calculé et le confort perçu, évaluées à presque de un dixième (8 %, 9 %).

**Pour le mois de Juin-** La perception du confort thermique mesurée dans l'enquête est considérablement différente au confort thermique calculé (respectivement 7.5 % et 28 %) avec une différence de 20.50 %.

Cependant le 'froid' dure aussi moins longtemps, selon la perception des occupants pendant le mois de juin que selon les calculs bibliographiques (0 % contre 32 %) avec

une différence de 32 %, tandis que la 'chaleur' perçue dure aussi plus longtemps et avec une grande différence à celle évaluée par les techniques d'analyse bioclimatiques (respectivement 92,51 % et 40 %) avec une différence de 52,1 %.

**Tableau 5:** Mois de Juin

Perception	Excessivement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Excessivement chaud
Valeur	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
%	0	0	0	0	7,5	12,5	26,67	25,84	27,5
$\Sigma$			0		7,5		92,51		
Méthode de Novell			32		28		40		

Les différences sont très importantes pendant le mois de Juin. Elles présentent des grandes distances qui séparent le confort calculé et le confort perçu, évaluées de presque le un cinquième à la moitié (20,50 %, 32 %, 52, 51 %). Ces distances sont la différence entre la technique universellement utilisée *des diagrammes bioclimatiques* et la technique d'évaluation par *les échelles de différenciations sémantiques*.

Ces résultats sont la représentation réelle de la perception du confort thermique par l'occupant de la région aride de Biskra. Elles expriment sur la réalité, et non sur les références bibliographiques, les pourcentages des ambiances thermiques, froid, chaleur et confort perçus par les occupants des lieux de travail. Les résultats de l'enquête reflètent les valeurs des besoins réels en confort thermique des sujets.

Ainsi, le confort calculé et le confort perçu sont différents et les techniques de calcul ne sont pas adaptées au cas d'étude.

### 6.3 Comparaison entre l'analyse de l'ambiance thermique perçue obtenue par l'enquête et celle évaluée par les indices thermiques (PMV et Top)

La comparaison entre le confort perçu par l'occupant dans les cas étudiés et le confort calculé dans l'analyse bioclimatique se fera à la base des pourcentages obtenus par questionnaire –pour la première variable- et par les indices thermiques (PMV et Top) –pour la deuxième variable-.

D'après la simulation thermique par le Derob-Lth et les indices thermiques: l'analyse du comportement thermique des cas étudiés montre que pour le mois de mars tous les bureaux atteignent un certain confort quelque soit leurs orientations et leurs enveloppes bâties. Tandis que pour le mois de Juin, les bureaux orientés Ouest et Sud-Ouest (des orientations défavorables) souffrent d'un inconfort considérables et une ambiance thermique désagréable.

#### Pour le mois de Mars

Vote moyen prévisible PMV	$-1 < PMV < 1$	82 %
Température opérative (Top)	Top pour l'été $22,5^{\circ}\text{C} < Top < 28^{\circ}\text{C}$	72 %
	Top pour l'hiver $20^{\circ}\text{C} < Top < 23,5^{\circ}\text{C}$	-

**Pour le mois de Juin**

<b>Vote moyen prévisible PMV</b>	-1 < PMV < 1	58 %
<b>Température opérative (Top)</b>	Top pour l'été	43 %
	22,5°C < Top < 28°C	
	Top pour l'hiver	-
20°C < Top < 23,5°C		

Les différences sont plus importantes pendant le mois de juin.

**Synthèse-** Il en résulte de la perception du confort et de sa comparaison avec les résultats d'analyse bioclimatique:

- Les bâtiments étudiés procurent un confort thermique à ses occupants pendant presque la moitié de l'année.
- Les bâtiments n'arrivent pas à atténuer l'inconfort maximal perçu, qui est de presque le un dixième de l'année.
- Le confort et l'inconfort perçus par les occupants sont différents du confort et de l'inconfort évalués par les techniques d'analyse bioclimatiques: il fait plus chaud et moins froid en réalité qu'en théorie.

#### **6.4 Comparaison entre les cas étudiés**

Les résultats obtenus à travers l'analyse de la perception du confort dans les lieux de travail, en utilisant le questionnaire sont récapitulés comme suit:

Tant que les trois types de constructions sont intégrés dans des tissus urbains contiennent des espaces verts proches, tels que 'le jardin 05 juillet, le jardin en face du siège des impôts, et les propriétés privées proche du siège de la wilaya', on considère que le microclimat est semblable dans les trois cas étudiés.

Selon l'enquête, les occupants des lieux de travail intégrés dans les tissus urbain post colonial et contemporain estiment leurs bureaux 'les plus froids' en hiver et 'les plus chauds en été'. Ainsi, la construction coloniale est estimée 'la moins froide' en hiver et 'la moins chaude' en été.

La construction coloniale est perçue par conséquent 'la plus confortable' et le mieux protégé aux variations climatiques. En hiver, le confort thermique est perçu atteint, et en période chaude, il fait moins chaud que les autres types de constructions.

Cette construction est la mieux protégée en été. Pour atteindre un certain confort thermique, les occupants de la construction coloniale ont procédé à la fermeture de la partie ouverte sur cour, pour pouvoir contrôler les variations climatiques entre 'intérieur et extérieur'.

Les constructions post-coloniale et contemporaine sont défavorables aux conditions climatiques par leurs enveloppes exposées à l'extérieur (les quatre façades, les murs non massifs) et au nombre important des ouvertures et de leurs dimensions. Le confort thermique y est difficilement atteint malgré les moyens de chauffage et de climatisation utilisés.

Dans les cas analysés, les bureaux incluent dans le siège de la DPAT, enregistrent le moins taux de satisfaction avec un confort thermique critique. Pour atteindre un certain confort thermique, les occupants des bureaux orientés vers l'Ouest et le Sud-Ouest

utilisent un nombre supplémentaire des moyens de climatisation et de ventilation et pendant des périodes prolongées et leur consommation en énergie varie sensiblement.

Cependant, contrairement au confort perçu dans les bureaux orientés vers l'Ouest et le Sud, les bureaux orientés Est et Nord indiquent des valeurs modérées. C'est une construction exposée par quatre façades aux variations de températures.

Comme toute les construction de tissu contemporain, le transfert thermique est assez considérable au niveau du siège de la DPAT et l'hôtel des finances 'les impôts', les ouvertures sont grandes et non protégées, les murs extérieurs non massifs sont en maçonnerie, avec une épaisseur de 30 cm. Ils n'offrent aucune protection thermique.

Les moyens mécaniques d'aide à la régulation thermique se réduisent à l'utilisation d'un nombre considérable de climatiseurs et ventilateurs en été et chauffages en hiver.

## 7. CONCLUSION

Cette analyse a montré la différence importante entre le confort thermique calculé et mesuré par les techniques d'analyse bioclimatiques et les indices thermiques et le confort perçu par les occupants des lieux de travail à travers la ville de Biskra.

Ceci confirme l'hypothèse de l'inadaptation des techniques de calcul par diagrammes et indices bioclimatiques, à évaluer le confort thermique réel dans les cas étudiés et par conséquent les besoins des occupants en régulation thermique.

La perception représente la technique adaptée pour l'évaluation du confort pour une population donnée. Ce qui permettra de proposer les stratégies nécessaires et suffisantes de régulation hygrothermique. Cette technique permettra aussi la construction des limites du confort thermique, avec des mesures synchroniques in-situ par des appareils sophistiqués.

## REFERENCES

- [1] H. M'Sellem, '*Le Confort Thermique entre Perception et Evaluation par Les Technique d'Analyse Bioclimatique, Cas des Lieux de Travail dans les Milieux Arides à Climat Chaud et Sec*', Mémoire de Magister, Département d'Architecture, Université de Biskra, 2007.
- [2] A. Potvin, C. Demers et H. Boivin, '*PETv4-2, Les Profils d'Equilibre Thermique comme Outil d'Aide à la Conception Architecturale*', Proceedings of eSIM-2004, Vancouver, Canada, 9-11 Juin, 2004.
- [3] A. Potvin, C. Demers and M.C. Dubois, '*Environmental Adaptability in Architecture - Towards a Dynamic Multi-Sensory Approach Integrating user Behavior*', Proceedings of Closing the Loop2004, Windsor, UK, 29 April – 2 May, 2004.
- [4] G.S. Brager and R.J. de Dear, '<http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>' (consulté le 10/08/2008), 2008.
- [5] G.S. Brager and R.J. de Dear, '*Thermal Adaptation in the Built Environment : A Literature Review*', Energy and Buildings, Vol. 27, N°1, pp. 83 – 96, 1998.
- [6] ISO 7730, '*Ambiances Thermiques Modérées – Détermination des Indices PMV et PPD et Spécifications des Conditions de Confort Thermique*', AFNOR, Paris, 1994.
- [7] ASHRAE, '*ASHRAE Handbook of Fundamentals*', SI Edition, pp. 8.1-8.29, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2005.

- [8] ASHRAE, '*ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chapter 8: Thermal Comfort*', American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 1997.