

# Adoption contextuelle des pratiques pédagogiques : entre écosystèmes physique et logiciel, le cas de l'architecture bioclimatique en Asie du sud-est

*Kimmenh Taing*<sup>1\*</sup> et *Pierre Leclercq*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Civil Engineering, Institute of Technology of Cambodia, Russian Federation Blvd., P.O. Box 86, Phnom Penh, Cambodia Faculty of Applied Science

<sup>2</sup>LUCID, Université de Liège, Allée de la Découverte 9 - Bât. B52 B4000 Liège, Belgique

**Résumé.** De nombreux cours liés à la conception durables sont donnés dans les cursus d'architecture afin de motiver les futurs concepteurs à concevoir des projets plus respectueux de notre environnement. Ces cours sont appuyés par des normes de conception qui sont pratiquées au niveau international. Cependant, comme la plupart des stratégies ont été développées dans les pays occidentaux, la question de leur exactitude à la pratique dans d'autres contextes se pose toujours. Dans cet article, nous questionnons le modèle de Fanger, qui est pratiqué dans le monde entier pour des analyses du confort thermique des bâtiments, afin d'évaluer la pertinence dans le contexte des pays tropicaux. Cinq bâtiments ont été choisis pour effectuer des mesures des paramètres physiques qui influencent le confort thermique. Ces mesures sont ensuite confrontées à des enquêtes et entretiens avec les occupants. Nous tentons d'en déduire des recommandations pour l'enseignement de la conception architecturale.

**Mots clés.** Pédagogie de l'architecture, Conception bioclimatique, Ecosystème physique et logiciel.

**Abstract.** Many courses related to sustainable design are given in architectural courses in order to motivate future designers to design projects that are more respectful to our environment. These courses are involved with certain standards that are practiced internationally. However, as most of these standards were developed in Western countries, the question of their accuracy to practice in other contexts still arises. In this article, we question the accuracy of Fanger model, which is practiced worldwide for analyzes of the thermal comfort of buildings, for context of tropical countries. Five buildings were chosen as case study to measure the physical parameters that influence thermal comfort. These measures are then confronted with surveys and interviews with the occupants. Some recommendations related to practice of standards for architectural courses for tropical climate are proposed according to our result.

**Keywords.** Pedagogy of architecture, Bioclimatic design, Physical and software ecosystem.

---

\* Corresponding author: [kimmenh.taing@doct.uliege.be](mailto:kimmenh.taing@doct.uliege.be)

## 1 Introduction

La croissance de la population a doublé au vingtième siècle dans les pays d'Asie du Sud-Est [1]. Cela résulta d'une croissance démographique et économique, en particulier pour les pays d'Asie du Sud-Est qui sont principalement des pays en voie de développement, l'industrie de la construction et des infrastructures augmentent de la même manière [2]. Cependant, cette croissance rapide du bâti, principalement dans les zones urbaines, ne tient pas compte de l'impact de la construction sur l'environnement global. Comme nous le savons tous, le secteur de la construction joue un rôle important dans la pollution de l'environnement, notamment avec les déchets de construction et avec la consommation d'énergie du bâtiment [3]. Le concept de développement durable a été présenté en 1972 par la Commission Brundtland aux architectes, ingénieurs et concepteurs pour les sensibiliser et aider à réduire les problèmes environnementaux causés par les bâtiments [4]. De nombreux cours liés à ce sujet ont ensuite été intégrés aux cursus d'architecture pour motiver la prochaine génération d'architectes à pratiquer le principe durable dans leur projet [5]. Ce principe de durabilité peut intervenir dans de nombreux aspects du cycle de vie d'un bâtiment en climatisation tels que la réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage, l'utilisation de matériaux locaux ou recyclables, la qualité de l'air intérieur, les déchets de construction, la durabilité, ...[6].

Le cours de conception bioclimatique répond au principe durable car son but est de guider les étudiants à faire une conception d'un bâtiment qui offre un confort optimal à l'occupant et surtout utilise le moins d'énergie possible en exploitant le climat et le contexte environnant [7]. Les analyses de confort thermique du bâtiment constituent un facteur important de cette conception et sont données comme un exercice pratique aux étudiants. Afin de conduire l'analyse du confort thermique, des méthodes diverse peuvent être utilisées comme l'analyse sur les paramètres influençant le confort thermique, la conduite d'enquête ou d'entretien avec l'occupant [8]. Parallèlement, certaines normes, équations ou modèles sont utilisés comme références pour mener ce type d'analyse [8][9]. Ces normes ou modèles sont mis en pratique partout dans le monde. Comme nous le savons tous, l'étude et le développement de ces normes ou modèles se réalisent principalement aux États-Unis ou dans les pays européens qui disposent historiquement de plus de ressources, tant matérielles qu'humaines dans le domaine de la recherche. Par conséquent, les paramètres utilisés dans ces études sont souvent basés sur les conditions de ces pays.

L'évolution de la technologie se traduit par une augmentation de l'application des aides numériques (logiciels, simulations, visualisations...) au processus de conception. Les développements de ces logiciels et méthodes de simulation s'inspirent également des normes que nous mentionnons ci-dessus. Il est évident que les logiciels développés en Europe sont plus applicables au contexte européen comme les logiciels développés aux États-Unis intègrent les paramètres américains. Généralement, une calibration du modèle utilisé pour mener les simulations est nécessaire même, si le modèle est développé dans le même contexte de l'origine du logiciel utilisé. Par conséquent, si le logiciel ou la méthode est utilisé pour une étude de cas dans un contexte différent, un calibrage ou un ajustement des paramètres est d'autant plus nécessaire.

## 2 Problématique

En tant que chercheurs et enseignants, nous sommes confrontés au problème de l'application de certaines normes ou méthodes de calcul au quotidien. Par exemple, pour le cours portant sur le principe de conception bioclimatique, le projet pédagogique construit pour les étudiants en Europe ne se décline pas de la même manière pour les étudiants en Asie. Dans notre cours, l'exercice pratique pour l'étudiant porte sur la conception d'un

bâtiment résidentiel localisé dans différents endroits du monde présentant différentes conditions climatiques, telles que le climat chaud et sec (Afrique), le climat froid et sec (Amérique du nord) et le climat chaud et humide (Asie du sud-est). Cependant, ce que les étudiants apprennent ne peut pas être facilement transposé d'un pays à l'autre. Par exemple, en Europe, l'étude se concentre davantage sur le réchauffement du bâtiment (capter et chauffer) car le projet est situé dans des conditions climatiques tempérées froides, tandis que le projet situé dans un climat tropical chaud se concentre davantage sur le refroidissement du bâtiment, sur la protection du bâtiment de la lumière directe du soleil et la création d'un flux de ventilation.

L'analyse correcte d'une étude de cas en Europe donnerait un résultat inexact pour la même étude de cas en Asie. Nos recherches portent sur l'étude des performances thermiques du bâtiment bioclimatique en région tropicale et impliquent l'utilisation du modèle de Fanger comme l'une des méthodes d'évaluation. Le modèle de Fanger est une méthode d'analyse du confort thermique créée à la fin des années 1960 pour analyser les performances thermiques du bâtiment en utilisant la notion de Predicted Mean Vote (PMV) [10]. La méthode consiste à saisir du vécu du confort thermique pour prédire les performances du bâtiment sur une échelle de -3 à +3, signifiant un ressenti de, très froid à très chaud. Ces facteurs influençant le confort thermique, nous permettent de calculer le PMV. Lui-même basé sur l'équation du confort de Fanger permet de prédire le confort thermique des occupants et de calculer le Predicted Percentage of Dissatisfaction (PPD) [10]. Cette méthode/modèle a été utilisée par de nombreux chercheurs pour des études de cas dans différentes parties du monde.

Dans cet article, nous discutons des exactitudes d'application du modèle qui est enseigné dans de nombreux cours d'architecture bioclimatique, axé sur l'analyse du confort thermique. Il s'agit d'une démarche préliminaire, plutôt illustrative, qui cherche à ajuster la démarche pédagogique pour un cours de conception architecturale durable déclinée dans les différents contextes.

### **3 Question de recherche**

La problématique décrite ci-dessus conduit à trois questions de recherche.

1. Est-ce que la norme que l'on dit être la norme internationale est applicable pour toutes les parties du monde tant pour la recherche que pour la pratique pédagogique ?
2. Ces normes ou modèles peuvent-ils être enseignés dans le cours sans corrections pour mieux s'adapter au contexte où les cours sont dispensés ?
3. Que doit faire l'enseignant pour adapter les normes internationales au contexte du cours ?

### **4 Méthodologie**

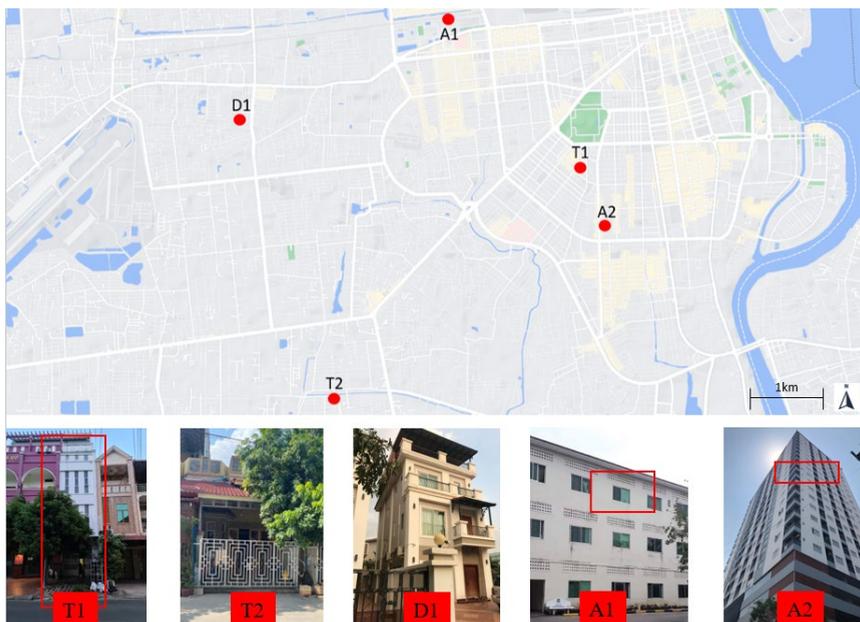
Notre méthode de recherche est divisée en quatre parties, elle consiste (1) à choisir des bâtiments servant de cas d'études, (2) à mesurer les paramètres physiques qui influencent le confort thermique des occupants, (3) à mener des enquêtes et des interviews questionnant la satisfaction thermique des occupants et (4) à comparer le PMV calculé par le modèle de Fanger et le PMV voté par les mêmes occupants.

## 4.1 Cas d'étude

Cinq bâtiments résidentiels situés à Phnom Penh au Cambodge sont choisis pour cette étude du climat tropical. Ces bâtiments s'inscrivent dans les trois types de logement qui sont communs au Cambodge. La description détaillée de chaque bâtiment est donnée dans la Table 1 et la Figure.1.

**Tableau 1.** Description des cas d'étude.

Logement	Type	Surface (m <sup>2</sup> )	Année de construction	Occupants
T1	Maison mitoyenne	216	1997	4
T2	Maison mitoyenne	96	2015	4
D1	Villa	336	2013	3
A1	Appartement	35	2010	3
A2	Appartement	42.5	2018	0-1



**Fig. 1.** Emplacement et perspective des bâtiments de cas d'étude.

## 4.2 Mesure des paramètres physiques

Trois paramètres physiques qui influencent le confort thermique ont été mesurés : la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Ce sont les paramètres nécessaires pour le calcul de PMV dans le modèle de Fanger. La température de l'air et l'humidité relative ont été relevées du 01/04 au 01/05/2021 et du 25/06 au 05/08/2021 en utilisant cinq *data logger*. Pour la vitesse de l'air, la mesure a été effectuée une fois par semaine du 25/06/2021 à 05/08/2021 en utilisant un anémomètre à fil chaud. La mesure de la vitesse de l'air a été réalisée dans des différentes conditions de ventilation, c'est-à-dire en ventilation naturelle ou en utilisant un ventilateur électrique. Tous les capteurs ont été

disposés dans le séjour ; pièce par rapport à laquelle les occupants ont répondu aux enquêtes et interviews.

### **4.3 Enquêtes et interviews des occupants**

En même temps que la mesure des paramètres physiques, des enquêtes ont été soumises aux occupants pour recueillir leur vote par rapport à leur sensation et degré de satisfaction de la performance thermique du bâtiment dans lequel ils vivent. Les occupants sont tous cambodgiens, des femmes âgées entre 25 à 55 ans et des hommes entre 25 à 35 ans. Ils habitent dans les logements concernés depuis au moins 2 ans, sauf pour l'usager plus récent du bâtiment A2. Les questionnaires sont basés sur celui d'ASHRAE qui permet à l'occupant de positionner sa sensation sur une échelle de -3 à +3 (-3 étant très froid et +3 très chaude). L'interview est menée avec les occupants en même temps que la mesure de la vitesse de l'air afin de pouvoir comparer leur sensation en ventilation naturelle ou électrique. Les questions et l'interview indiquent aussi quels vêtements ils portaient et pour quelle activité. Leurs réponses nous permettent à indiquer les paramètres habillement et taux métabolique, qui sont deux autres paramètres nécessaires pour le calcul du PMV au-delà des paramètres physiques.

## **5 Observations**

Les tables ci-dessous donnent la comparaison du PMV donné par les occupants à travers l'enquête et l'interview (PMV\_Vote) et le PMV calculé avec les données physiques mesurées (PMV\_Calcul). Les paramètres physiques utilisés pour calculer le PMV sont les données collectées par les capteurs de la température de l'air (TA), de l'humidité relative (RH) et de la vitesse de l'air (VA). Comme les occupants portent des vêtements d'été lors de l'enquête et de l'entretien, le paramètre d'habillement utilisé pour le calcul du PMV est de 0,5 *clo*. Pour le taux de métabolique, nous utilisons la valeur standard pour le calcul puisque les occupants sont assis et détendus en donnant leur réponse. Les PMV\_Calcul sont obtenu conformément à la norme ANSI/ASHRAE 55 sur le site <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. L'enquête et l'entretien ont retourné 86 réponses/votes. Les réponses s'avèrent semblables chaque habitant du même logement. Nous montrons ci-dessous un extrait des tous les votes reçus avec les mesures exactes des paramètres physiques. La comparaison de PMV est faite d'une part en condition de ventilation naturelle et d'autre part en utilisant le ventilateur électrique.

**Tableau 2.** Comparaison du PMV en condition de la ventilation naturelle (extrait).

Bâtiment	TA (°C)	RH (%)	VA (m/s)	PMV_Calcul	PMV_Vote	Difference PMV
T1	30,50	67,50	0,17	1,44	2,00	0,56
T1	29,00	73,00	0,21	1,02	1,00	-0,02
T1	30,00	70,50	0,14	1,51	3,00	1,49
T1	31,50	73,50	0,31	1,38	0,00	-1,38
T2	33,00	58,00	0,10	2,19	2,00	-0,19
T2	32,50	62,50	0,16	2,03	2,00	-0,03
T2	31,50	68,50	0,14	1,99	2,00	0,01
T2	31,50	67,00	0,11	1,99	2,00	0,01
D1	32,00	67,00	0,40	1,40	0,00	-1,40
A1	33,50	61,50	0,03	2,03	3,00	0,97
A1	29,00	71,50	0,04	1,59	3,00	1,41
A1	30,50	68,50	0,04	1,69	3,00	1,31
A1	32,50	64,00	0,11	2,16	3,00	0,84
A2	30,50	69,00	0,17	1,46	2,00	0,54
A2	30,50	70,00	0,13	1,62	2,00	0,38
A2	30,50	73,00	0,14	1,64	2,00	0,36

**Tableau 3.** Comparaison du PMV en condition de la ventilation en utilisant le ventilateur électrique (extrait).

Bâtiment	TA (°C)	RH (%)	VA (m/s)	PMV_Calcul	PMV_Vote	Difference PMV
T1	30,50	67,50	2,07	0,54	-1,00	-1,54
T1	29,00	73,00	1,87	0,20	-1,00	-1,20
T1	30,00	70,50	1,43	0,57	0,00	-0,57
T1	31,50	73,50	2,01	0,96	-1,00	-1,96
T2	33,00	58,00	1,24	1,32	0,00	-1,32
T2	32,50	62,50	2,22	1,08	0,00	-1,08
T2	31,50	68,50	1,97	0,92	0,00	-0,92
T2	31,50	67,00	2,33	0,52	-1,00	-1,52
D1	32,00	67,00	2,28	0,69	-1,00	-1,69
A1	33,50	61,50	0,73	1,66	-1,00	-2,66
A1	29,00	71,50	0,88	0,13	-1,00	-1,13
A1	30,50	68,50	0,31	1,20	-1,00	-2,20
A1	32,50	64,00	1,36	0,96	0,00	-0,96

Les résultats montrent qu'il y a toujours une différence entre le PMV calculé et le PMV issu du vote. Même si les habitants des régions tropicales sont plus résistants aux températures élevées et ont une norme de température de confort plus élevée, le PMV\_Vote s'avère toujours supérieur au PMV\_Calcul. La raison de ce résultat est que les habitants sont plus sensibles à la vitesse de l'air et que ce paramètre s'avère être un facteur très important pour le confort thermique dans les régions à climat chaud et humide. Nous pouvons voir aussi que le PMV\_Calcul est généralement plus faible que le PMV\_Vote pour la ventilation naturelle et plus fort pour la ventilation en utilisant le ventilateur électrique.

## 6 Discussion et conclusion

Comme nous le voyons dans la comparaison des deux PMVs, le modèle de Fanger qui a été développé sur une base des conditions de climat froid ne tient pas suffisamment compte de la vitesse de l'air dans le cas d'un climat chaud. Plusieurs études ont modifié les équations du modèle des Fanger pour s'adapter aux conditions de climat et au comportement des occupants de différents pays. Par exemple, une étude de Pau J. S et al (2013) a proposé une méthode adaptative au modèle de Fanger pour le climat de la Malaisie qui prend en compte la ventilation et l'impact de la culture et du mode de vie sur l'habillement et le taux métabolique [11]. Le nouveau modèle adaptatif propose une limitation de PMV à  $\pm 1,3$  pour une satisfaction des occupants de 80 %, avec un incrément de  $\pm 0,3$  par rapport à la limitation initiale de PMV selon la norme ASHRAE [11]. Une autre étude, menée en Chine, a également proposé un vote moyen prédit adaptatif pour s'ajuster au climat, à la culture, au comportement social et psychologique de ce pays [12]. Une autre étude encore pour un cas dans la région côtière du Bénin, a également développé un modèle de Fanger adaptatif pour suivre également le contexte de cette région. L'étude montre que l'erreur trouvée dans le modèle est liée aux teintes thermo-physiologiques que sont les teintes ethniques de la peau noire. Par conséquent, les habitants de cette région sont moins sensibles à la température qu'à l'humidité relative. Ils peuvent ainsi accepter plus facilement des températures élevées [13].

En complément aux études mentionnées ci-dessus, notre observation de l'application du modèle de Fanger dans le contexte de l'Asie du sud-est montre qu'un modèle adaptatif devrait être proposé aussi pour s'adapter au contexte de l'étude. La pédagogie de l'architecture qui implique l'application de normes doit être attentive à mieux étudier les modèles et les utiliser en concordance avec le terrain où il sera appliqué. L'enseignant doit avoir une connaissance de ce terrain et le cours doit être donné des cas d'étude adaptés au contexte. La vérification de l'intégration des éléments clés (pour le cas d'Asie du sud-est, c'est la ventilation) dans les outils mis en œuvre (logiciel), dans les méthodes (ici le modèle de Fanger) et dans la démarche pédagogique (sensibiliser les apprenants au transfert inter-contextuel), sont les points importants pour proposer un cours à réelle valeur ajoutée. Évidemment, des interviews et enquêtes à une échelle beaucoup plus large seraient préférables. Mais notre résultat peut être considéré comme une première approche envers d'autres recherches liées à ces notions de confort et durabilité, invitant déjà les enseignants à réfléchir à ces enjeux.

Comme la culture, la tradition, le climat, la géographie et le style de vie des habitants sont en relation directe avec l'architecture, la pédagogie de conception et la mise en œuvre des standards, normes ou modèles doivent s'y conformer de la même façon.

## Références

1. G. W. Jones, The population of Southeast Asia, *Routledge Handb. Southeast Asian Econ.*, no. **196**, pp. 201–229 (2014) doi : 10.4324/9781315742410-22.
2. N. H. Hoang, T. Ishigaki, R. Kubota, M. Yamada, et K. Kawamoto, A review of construction and demolition waste management in Southeast Asia, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. **22**, no. 2, pp. 315–325 (2020) doi : 10.1007/s10163-019-00914-5.
3. Z. A. Siddiqi, M. A. Chaudhry et M. Ashraf, Effects of Construction Activities on Environment, *Challenges Concr. Constr., Sustain. Concr. Constr.*, vol. **5**, no. 3, pp. 23–32 (2002) doi : 10.1680/sec.31777.0003.
4. F. Shafii, Z. Arman Ali et M. Z. Othman, Achieving sustainable construction in the developing countries southeast asia, *Proc. 6th Asia-Pacific Struct. Eng. Constr. Conf. (APSEC 2006)*, vol. **1**, no. September, pp. 5–6 (2006)
5. S. P. Álvarez, K. Lee, J. Park et S. Rieh, A Comparative Study on Sustainability in Architectural Education in Asia — With a Focus on Professional Degree Curricula, *Sustain.*, vol. **8**, no. 290 (2016) doi : 10.3390/su8030290.
6. S. Dresner, *The Principles of Sustainability* (Londres : Earthscan, 2012)
7. V. I. Telichenko, A. A. Benuzh et V. V. Fateeva, Computer modeling of the parameters of the internal microclimate of buildings with green inserts inside, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. **456**, no. 1 (2018) doi : 10.1088/1757-899X/456/1/012097
8. J. Eddy et al., *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, vol. **7** (2017)
9. I. S. O. 527-1, International Standard International Standard - ISO 527-1, Iso (2005) [www.iso.org](http://www.iso.org)
10. J. Van Hoof, Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all?, *Indoor Air*, vol. **18**, no. 3, pp. 182–201 (2008) doi : 10.1111/j.1600-0668.2007.00516.x.
11. W. K. S. Pao et K. K. Kee, A Modified Fanger's Model for Malaysia Climate, no. Juillet (2013).
12. B. Li, J. Wang et B. Li, A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV) Related papers, *Build. Environ.*, vol. **44**, pp. 2089–2096 (2009), doi : 10.1016/j.buildenv.2009.02.014.
13. A. Olissan, C. Kouchade et Ph. Andre, Thermal comfort in tropical and humide climate: coastal strip of Benin, vol. **2**, p. 6700 (2013)