

L'effet d'incertitude du comportement des occupants et des matériaux de l'enveloppe du bâtiment sur les besoins énergétiques

Walid Belazi, Salah-Eddine Ouldboukhitine, Alaa Chateaneuf, Hamid Bouchair.

Université de Clermont Auvergne, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

RÉSUMÉ. Dans cet article, un modèle numérique est développé pour analyser l'incertitude du comportement des occupants et des matériaux de l'enveloppe du bâtiment sur la performance énergétique. Des variations aléatoires des paramètres liés au comportement des occupants et à l'enveloppe du bâtiment sont étudiées afin de quantifier les incertitudes sur les demandes énergétiques finales. En ce qui concerne le comportement des occupants, les paramètres étudiés sont les heures d'arrivée et de départ des occupants, le nombre d'occupants et les gains internes attribuables aux activités des occupants. En ce qui concerne l'enveloppe du bâtiment, les paramètres étudiés sont les valeurs U des murs extérieurs, du sol et du toit. Les résultats montrent une grande variation des besoins énergétiques en raison des incertitudes liées au comportement des occupants et aux propriétés physiques des matériaux de construction. Les incertitudes dans les données d'entrée montrent que les paramètres liés au comportement des occupants ont une influence considérable dans les climats chauds par rapport aux paramètres liés aux matériaux de l'enveloppe du bâtiment. En revanche, pour le climat froid, l'influence est plus marquée pour les paramètres liés à l'enveloppe du bâtiment que les paramètres liés au comportement des occupants.

ABSTRACT. In this paper, a numerical model is developed to analyze the uncertainty of occupant behavior and building envelope materials on energy performance. Random variations of parameters related to occupant behavior and building envelope are studied in order to quantify the uncertainties on the final energy loads. Regarding occupant behavior, the studied parameters are the occupant arrival and departure times, the number of occupant and internal gains due to occupant activities. Regarding the building envelope, the studied parameters are external walls, floor and roof U-values. The results show a large variation of energy needs due to uncertainties related to occupant behavior and building physical properties. The uncertainties in input data show that parameters related to occupant behavior have a considerable influence in hot climates compared to parameters related to building envelope materials. On the other hand, for cold climate, the influence is more pronounced for parameters related to building envelope than parameters related to occupant behavior.

MOTS-CLÉS : performance énergétique, incertitudes, comportement des occupants, enveloppe du bâtiment, Matlab.

KEY WORDS: building energy performance, uncertainties, occupant behavior, building envelope.

1. Introduction

Au jour d'aujourd'hui, le secteur du bâtiment représente le plus gros consommateur d'énergie avant même les secteurs de l'énergie et du transport [1]. Actuellement en Europe, on déplore plus de 40 % de la demande énergétique totale dédiée uniquement aux consommations du bâtiment et plus de 25% d'émissions de gaz à effet de serre [2, 3] dont 60% de la consommation d'énergie totale est dédiée au chauffage et au refroidissement dans la plus part des pays de IEA (International Energy Agency) [4]. Devant ces problématiques, des schémas d'amélioration sont envisagés à fin de baisser la consommation énergétique. Différents labels (HPE 2005, THPE 2005 et BBC) ont été mis en place incitant à des performances supérieures et de trouver d'autres sources de production d'énergie en utilisant des solutions alternatives de production d'énergie [5]. L'objectif est de généraliser la notion de bâtiment à basse consommation BBC afin de diminuer la consommation énergétique au sein du bâtiment et par conséquent, améliorer la qualité et la performance énergétique de l'enveloppe.

Aujourd'hui, la simulation de performance énergétique des bâtiments est un domaine qui nécessite beaucoup de détails au niveau des paramètres d'entrées souvent incertains [6]. Toutefois, des écarts importants en termes de consommation énergétique des bâtiments entre les performances mesurées et le modèle proposé au stade de la conception sont signalés [7]. L'estimation du degré d'incertitude de chaque paramètre contribué est donc importante pour améliorer les modèles de simulation et d'aider le modéleur à produire une meilleure analyse des résultats de simulation.

Des nombreuses études approuvent l'existence de ces écarts entre les consommations réelles et celles simulées même si on prend en considération l'isolation thermique élevée de l'enveloppe [8]. Ces écarts peuvent être attribués à des incertitudes introduites par plusieurs composantes tel que la précision des modèles de simulation et la précision des paramètres d'entrée décrivant la conception de l'enveloppe du bâtiment et les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC) [4]. La mauvaise prise en compte de la dynamique

du comportement des occupants est l'une des causes majeures d'incertitudes dans les logiciels de simulation thermique et dynamique STD. Donc, il est nécessaire de tenir en compte le rôle clé de l'occupation et l'intégrer dans des modèles pour prédire avec précision les consommations réelles des bâtiments.

1.1. Analyse d'incertitude

Certaines études dans la littérature se concentrent sur l'évaluation des incertitudes pendant la phase de simulation, tandis que d'autres se concentrent sur l'examen des incertitudes et / ou des sensibilités des paramètres d'entrée de conception de bâtiment et des prévisions de consommation d'énergie. Lu et al. [9] ont quantifié les incertitudes des données de consommation d'énergie sur la base des simulations de Monte Carlo. Ils ont suggéré une procédure d'analyse de l'incertitude. La première étape consiste à compiler les données d'inventaire de la consommation d'énergie, y compris l'identification des paramètres qui pourraient influencer les résultats finaux. Dans la deuxième étape, le modèle est établi en utilisant un modèle mathématique qui inclut un certain nombre de paramètres clés (tels que le type de bâtiment et le comportement de l'utilisateur). Les modèles de distribution probabilistes sont ensuite développés en sélectionnant les paramètres pertinents en tant qu'entrées de modèle. Les distributions de probabilité peuvent être empiriques, paramétriques ou une combinaison des deux. Avec ces modèles, la propagation de l'incertitude à partir des paramètres d'entrée jusqu'aux sorties du modèle peut être quantifiée en utilisant la simulation Monte Carlo brute (MCS). Enfin, les estimations quantitatives des incertitudes associées aux estimations de consommation d'énergie sont déterminées.

2. Modélisation et validation

2.1 Le modèle thermique

Le modèle R3C2 est considéré dans cet article pour étudier le comportement thermique. En effet, il est montré à la fois simple et précis. Il nous permet de décrire les variations de la consommation d'énergie en fonction de la différence entre la température extérieure et la température intérieure. Il est considéré comme une représentation physique simplifiée du bâtiment en utilisant cinq paramètres. Le modèle R3C2, illustré par le circuit électrique équivalent de la figure 1-a est représenté sous la forme de réseaux thermiques décrits par des équations différentielles en termes de résistances et de capacités. En utilisant ce modèle, les bâtiments peuvent être modélisés comme un bilan énergétique dans un système dynamique. Le bilan énergétique est donné en termes de contribution de différents phénomènes, au niveau de l'enveloppe du bâtiment: conduction à travers la paroi, convection entre l'air intérieur et la paroi, et rayonnement du flux solaire. De plus, la perte de flux de chaleur par infiltration d'air à travers les fenêtres est prise en compte dans le transfert de chaleur (figure 1-b).

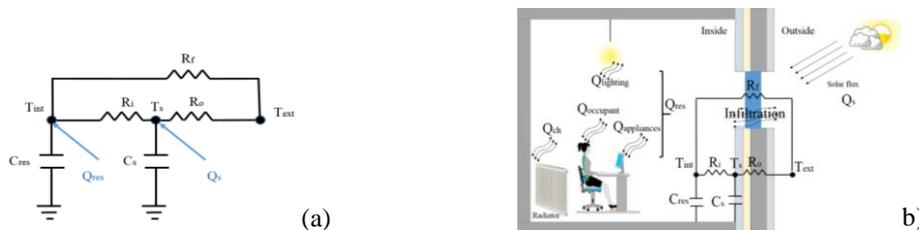


Figure 1. Représentation du circuit électrique du modèle thermique du bâtiment R3C2.

Dans le modèle R3C2, l'enveloppe du bâtiment est modélisée par un ensemble de résistances et de capacités (R_i , R_o , R_f , C_s et C_{res}). Un flux solaire Q_s est injecté sur le nœud représentant la surface interne de la structure T_s . La puissance totale Q_{res} (puissance de chauffage et gain interne) est injectée au nœud représentant la température intérieure. Les équations d'équilibre de conservation d'énergie pour chaque nœud du réseau peuvent s'écrire comme suit:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{int}}{dt} &= \frac{1}{C_{res}} \left[-\left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_f}\right)T_{int} + \frac{1}{R_i}T_s + \frac{1}{R_f}T_{ext} + Q_{res} \right] \\ \frac{dT_s}{dt} &= \frac{1}{C_s} \left[\frac{1}{R_i}T_{int} - \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_o}\right)T_s + \frac{1}{R_o}T_{ext} + Q_s \right] \end{aligned} \quad [1]$$

2.1 Résultats de la simulation numérique

La simulation est réalisée pour un bureau de 20 m² situé à la ville de Montluçon (France) avec une fenêtre (1.2x 1 m). Un occupant est considéré au départ pour permettre une meilleure validation. La géométrie du bureau est de (5 x 4 x 2,5 m). Le plafond, le sol et les quatre murs en contact avec l'extérieur sont composés de béton

isolé de l'extérieur. Le résultat du modèle R3C2 est comparé avec les résultats obtenus par les deux logiciels de simulation thermique dynamique Pleiades et Trnsys.

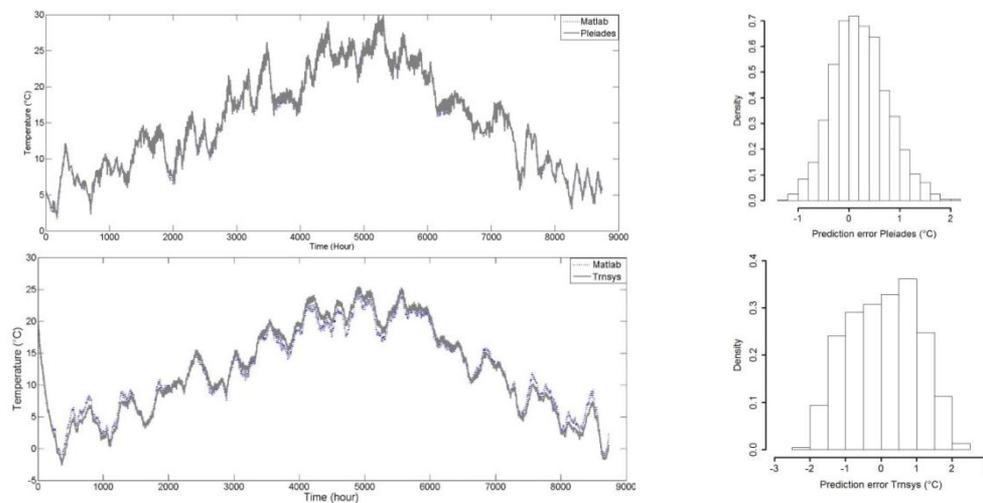


Figure 2. Réponse du modèle : ligne continue (Pleiades ou Trnsys), ligne brisée (Matlab: R3C2)

Figure 2 représente une comparaison entre les résultats numériques (Matlab) et les logiciels de simulation dynamique (Trnsys et Pleiades). Cette comparaison montre la bonne capacité du modèle R3C2 à simuler les phénomènes dynamiques. Le modèle R3C2 est capable de prédire correctement les valeurs maximales et minimales les plus élevées du profil horaire, mais surestime légèrement les valeurs les plus élevées en hiver et sous-estime les valeurs les plus basses en été.

3. Résultats d'analyse d'incertitude

L'objectif de cette section est d'obtenir les distributions de consommation de chauffage et de refroidissement du modèle de bureau étudié. Deux types d'incertitudes ont été analysés dans cette section: le comportement des occupants et les coefficients U de l'enveloppe du bâtiment (murs, toit et plancher). Afin d'éviter les complications de l'effet de second ordre qui pourraient se produire, les variables incertaines sont variées séparément. Chaque valeur incertaine est dérivée d'une source de données. Pour quantifier l'effet de la variation aléatoire des paramètres liés au comportement des occupants et à l'enveloppe du bâtiment, nous modifions à chaque phase de simulation les paramètres d'entrée selon l'organigramme de la figure 3.

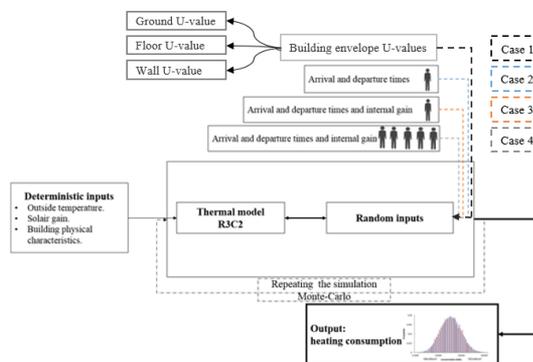


Figure 3. Organigramme de simulation aléatoire des paramètres d'entrée.

L'influence de l'incertitude sur les différents paramètres (temps d'arrivée et de départ), les gains de chaleur, le nombre de paramètres d'occupants et d'enveloppes tels que les murs, le sol et le toit sont étudiées dans différentes villes. Figure 4 représente le coefficient de variation de chacune des villes inspectées dans chaque cas. En général, on peut remarquer que l'adoption du cas 4 se traduit par une variation d'environ 12-17% pour la demande totale de chauffage et de refroidissement dans toutes les villes. D'autre part, l'adoption des cas 3 ou 4 conduit à une légère variation des demandes de chauffage / refroidissement, variation allant de 2 à 6% dans toutes les régions. En outre, dans les climats dominants tels que Nancy, l'incertitude sur la présence des occupants et les gains de chaleur de l'équipement entraîne une différence remarquable du coefficient de variation de l'été par rapport aux autres climats. La même note peut être conclue pour le climat chaud tel que Nice, la variation résulte à une différence plus élevée en hiver par rapport aux autres climats. De plus, la variation de la

valeur U des murs dans différentes villes entraîne une variation considérable, jusqu'à 15% à Nice et 20% à Nancy, de la demande de chauffage. En revanche, la variation des valeurs U du plancher et du toit donne des différences de demande de chauffage maximales de 7% et 10% respectivement.

En été, les influences des incertitudes sont plus faibles que celles de l'hiver. L'écart maximal ne dépasse pas 4% à Nancy, ce qui est une valeur non significative. Il est important de mentionner que Nancy a le plus grand écart par rapport à Montluçon et Nice. Même si le sol et le toit ont la même surface (20 m²), la variation due à l'incertitude de la valeur U du toit est légèrement supérieure d'environ 2%. La forte influence des murs est due à sa grande surface exposée à l'environnement extérieur (45 m²), soit 2,25 fois plus élevée que celle du sol et du toit. Par conséquent, il est clair que l'incertitude sur la valeur U des parois dans les deux saisons est la plus élevée par rapport à l'incertitude due aux autres coefficients (valeur U du toit et du plancher).

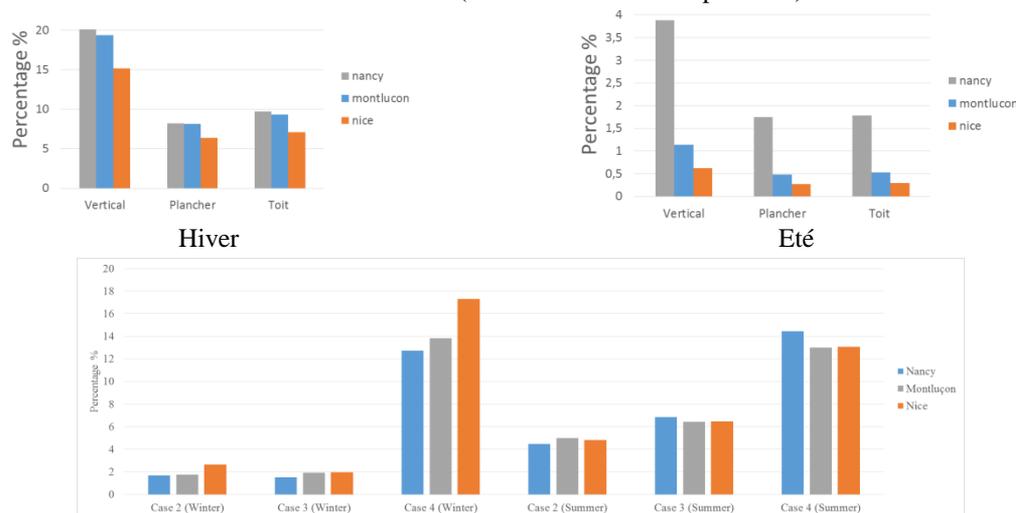


Figure 4. Coefficient de variation de l'analyse des incertitudes des paramètres physiques et de comportement des occupants pour différentes études de cas chauffant dans différentes régions

4. Conclusion

En conclusion, les différents résultats obtenus dans cette section font prendre conscience de l'importance d'avoir une meilleure estimation des principaux paramètres incertains qui influencent la consommation d'énergie lors de la conception du bâtiment. Il est démontré que le comportement des occupants a une influence significative dans les climats chauds par rapport aux matériaux de l'enveloppe du bâtiment. Les influences des matériaux de l'enveloppe du bâtiment semblent avoir un effet significatif dans les climats froids.

5. Bibliographie

[ADE 13]: ADEME.Climat, air et énergie, édition 2013.

[OZE 12]: M.Ozel. Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impact of insulation materials. Energy and buildings.2012.

[LOM 08]: Luis Pérez-Lombard. A review on buildings energy consumption information, Energy and buildings, 2008.

[AIS 14]: A.Aissani. Cost model for optimum thicknesses of insulated walls considering indirect impacts and uncertainties, Energy and buildings, 2014.

[MAT 12]: F. Mathilde, «Efficacité énergétique: étude de l'impact de la nouvelle réglementation de RT2012 sur les opérations de bureaux et de logement». Juin 2012.

[MAN 13]: M. Manfren, N. Aste, R. Moshksar, Calibration and uncertainty analysis for computer models – a meta-model based approach for integrated building energy simulation, Applied Energy 103 (2013).

[LIP 12]: Liping Wang, Paul Mathew, Xiufeng Pang. Uncertainties in Energy Consumption Introduced by Building Operations and Weather for a Medium-Size Office Building. Environmental Energy Technologies Division Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720. September 2012.

[SER 03]: Seryak J, Kisscock K. «Occupancy and behavioral effects on residential energy use». American Solar Energy Society, Solar conference, Austin, Texas, 2003.

[YUE 13]: Yuehong Lu, Zhijia Huang, Ting Zhang. Method and case study of quantitative uncertainty analysis in building energy consumption inventories. Energy and Buildings 57 (2013) 193–198.