

Analyse et amélioration du calcul des besoins de refroidissement et du risque de surchauffe dans la méthode réglementaire belge d'évaluation de la PEB des bâtiments résidentiels

Blaise ALTDORFER^{1*}, Véronique FELDHEIM¹

¹ Pôle Energie – Université de Mons – 56, rue de l'Épargne 7000 Mons BELGIQUE

* (auteur correspondant : blaise.altdorfer@umons.ac.be)

Résumé – Cet article présente une étude sur l'amélioration de la méthode de calcul réglementaire belge relative à la Performance Énergétique des Bâtiments. Cette étude a en particulier pour but de revoir et d'améliorer l'évaluation des besoins de refroidissement et du risque de surchauffe dans les bâtiments résidentiels, en comparant les résultats obtenus par cette méthode réglementaire et par des simulations dynamiques heure par heure.

Nomenclature

<i>E</i>	énergie primaire, <i>MJ</i>	<i>g</i>	gain de chaleur
<i>H</i>	coefficient de déperdition, <i>W/K</i>	<i>i</i>	interne
<i>Q</i>	quantité de chaleur, <i>MJ</i>	<i>in/exfilt</i>	infiltration/exfiltration
<i>p</i>	prob. d'installation de refroidiss. actif, -	<i>m</i>	mois
<i>r</i>	coefficient de réduction, -	<i>nat</i>	naturel
<i>V</i>	volume, <i>m³</i>	<i>over</i>	surventilation
<i>Symboles grecs</i>		<i>overh</i>	surchauffe
η	taux d'utilisation des apports gratuits, -	<i>preh</i>	préchauffage
θ	température, °C	<i>prim</i>	primaire
<i>Indices et exposants</i>		<i>ref</i>	référence
<i>cons</i>	consommation	<i>sec i</i>	numéro du secteur énergétique <i>i</i>
<i>cool</i>	refroidissement	<i>T</i>	transmission
<i>dedic</i>	volontaire	<i>util</i>	utilisation
<i>e</i>	extérieur	<i>V</i>	ventilation
<i>free</i>	ventilation pendant la journée		

1. Introduction

La méthode de calcul réglementaire belge, dite méthode PEB, s'inscrit dans la transposition de la directive européenne 2002/91/CE [1] dont le but est de promouvoir l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments au sein de l'Union Européenne. Cette directive fixe, entre autres, un cadre général pour une méthode de calcul de la performance énergétique intégrée des bâtiments et définit des exigences minimales en la matière pour les bâtiments neufs et les bâtiments existants de grande taille lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants. Le principe de la méthode de calcul PEB, similaire dans les trois Régions de Belgique (Wallonie, Région Flamande et Région de Bruxelles-Capitale), repose sur la détermination d'un niveau de consommation d'énergie primaire adimensionnel, appelé 'niveau E', qui permet de caractériser et de comparer les bâtiments du point de vue énergétique. Ce niveau E est donné par la relation :

$$E = 100 \cdot \frac{E_{prim,cons}}{E_{prim,ref}} \quad (1)$$

dans laquelle $E_{prim,cons}$ représente la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire du bâtiment considéré et $E_{prim,ref}$ est une valeur de référence correspondant à l'énergie primaire que consommerait un bâtiment standard présentant les mêmes volume et surface de déperdition que le bâtiment réel. La quantité $E_{prim,cons}$ est la somme des besoins en énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude sanitaire et les auxiliaires à laquelle sont soustraites les contributions des systèmes photovoltaïques et de la cogénération.

2. Principes de l'étude

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de trois bâtiments représentatifs de l'habitat belge : une maison quatre façades, une maison de rangée et un appartement. Pour chacun d'eux, trois niveaux de qualité thermique ont été envisagés, 'acceptable', 'bon' et 'très bon', qui se différencient par l'isolation, la performance des vitrages employés, le soin apporté à l'étanchéité à l'air, le système de ventilation et la présence ou non de protections solaires.

Le comportement thermique de ces bâtiments a été évalué à la fois par la méthode PEB qui est une méthode mensuelle, et par un logiciel de simulations dynamiques heure par heure, TRNSYS, utilisé comme logiciel de référence. Dans les deux cas, les bâtiments ont été simulés à l'aide de modèles bizones : la zone 1 (zone 'de jour') comprend les pièces de vie, tandis que la zone 2 (zone 'de nuit') comprend les chambres et salles de bains.

Un ensemble d'hypothèses spécifiques pour les simulations dynamiques a été établi au sein du projet. Ces hypothèses, plus réalistes que celles intervenant dans la méthode PEB mensuelle, sont, par exemple, des températures de consigne de chauffage variables en fonction des zones et du temps (la méthode PEB considère indifféremment 18°C) et des paramètres relatifs au confort thermique comme l'activité et l'habillement des occupants.

Une première étape de validation a consisté à comparer les résultats de la méthode PEB et des simulations dynamiques en employant des deux côtés les hypothèses de la méthode PEB, afin de vérifier les écarts entre les deux méthodes. Une seconde étape a consisté, quant à elle, à comparer les deux méthodes avec leurs ensembles d'hypothèses propres, afin de déterminer quelles hypothèses modifier dans la méthode PEB pour obtenir des résultats plus réalistes.

3. Analyse de l'évaluation des besoins de refroidissement

3.1. Principe de la méthode PEB actuelle

Seuls les résultats au niveau des besoins nets de refroidissement seront considérés dans le cadre de cet article. La conversion en énergie finale ne sera pas envisagée. Les besoins nets de refroidissement mensuels sont donnés dans la méthode PEB par la relation suivante [2] :

$$Q_{cool,net,sec\ i,m} = p_{cool,sec\ i} \cdot Q_{excess,cool,sec\ i,m} \quad (2)$$

dans laquelle, $Q_{cool,net,sec\ i,m}$ représente les besoins nets en énergie pour le refroidissement [MJ] pour le mois m et pour le secteur énergétique i (partie d'un bâtiment ayant une installation de chauffage qui lui est propre) et $Q_{excess,cool,sec\ i,m}$ reprend les gains de chaleur excédentaires [MJ] par rapport à la température de consigne de refroidissement qui est de 23°C.

Le facteur $p_{cool,sec\ i}$ est la probabilité conventionnelle d'installation d'un refroidissement actif. Cette dernière est explicitée dans la section 4 dans laquelle est défini l'indicateur de surchauffe dont elle est issue. Etant une manière propre à la méthode PEB d'intégrer le risque de surchauffe dans le calcul des besoins de refroidissement, il n'a pas été pris en compte dans les comparaisons avec les simulations dynamiques et a été considéré égal à l'unité.

Les besoins nets sont dès lors donnés par la relation suivante :

$$Q_{cool,net,sec\ i,m} = Q_{excess,cool,sec\ i,m} = (1 - \eta_{util,cool,sec\ i,m}) \cdot Q_{g,cool,sec\ i,m} \quad (3)$$

dans laquelle $\eta_{util,cool,sec\ i,m}$ est le taux d'utilisation des gains de chaleur mensuels d'un secteur énergétique i , pour la détermination des besoins de refroidissement. Cette grandeur est fonction du rapport entre les apports gratuits (internes et solaires) et les pertes (par transmission et par ventilation), ainsi que de la classe d'inertie du bâtiment. La quantité $Q_{g,cool,sec\ i,m}$ correspond aux apports gratuits [MJ].

Le calcul des pertes par transmission et ventilation s'effectue par rapport à une température de consigne de refroidissement de 23°C. Les pertes $Q_{V,cool,sec\ i,m}$ [MJ] par ventilation pour un mois m sont données par la relation :

$$Q_{V,cool,sec\ i,m} = 0,34 \cdot \left(\dot{V}_{in/exfilt,cool,sec\ i} + r_{preh,cool,sec\ i} \cdot \dot{V}_{dedic,sec\ i} + \dot{V}_{over,sec\ i} \right) \cdot (23 - (\theta_{e,m} + 2)) \cdot t_m \quad (4)$$

dans laquelle $\dot{V}_{in/exfilt,cool,sec\ i}$ est le débit de ventilation dû à la perméabilité à l'air du bâtiment [m³/h], $\dot{V}_{dedic,sec\ i}$ est le débit de ventilation hygiénique [m³/h] et $\dot{V}_{over,sec\ i}$ est le débit de surventilation [m³/h]. Le facteur $r_{preh,cool,sec\ i}$ [-] est un coefficient tenant compte de l'effet d'une éventuelle récupération sur l'air de ventilation extrait, tandis que $\theta_{e,m}$ est la température extérieure mensuelle moyenne [°C] et t_m est la durée du mois [Ms].

Pour le calcul des besoins de refroidissement, la méthode PEB applique deux majorations aux conditions climatiques pour prendre en compte des années plus chaudes qu'une année météorologique moyenne : la température moyenne mensuelle extérieure est majorée de 2°C comme le montre la relation précédente, tandis que les gains solaires sont augmentés de 10%.

3.2. Modifications apportées à la méthode PEB

L'analyse a eu pour but de vérifier la pertinence des majorations sécuritaires des conditions climatiques évoquées ci-dessus. Pour ce faire, des comparaisons ont été réalisées entre les résultats des simulations dynamiques et ceux obtenus par la méthode PEB.

Plusieurs fichiers horaires, correspondant aux années 2004 à 2008, contenant températures extérieures et ensoleillements et provenant de l'Institut Royal de Météorologie de Belgique (IRM), ont été examinés. Un fichier 'moyen' supplémentaire a été constitué en moyennant heure par heure les données climatiques de ces cinq années. Enfin, deux autres fichiers météo spécialement établis au sein du projet ont été considérés : les fichiers 'Meteonorm average' et 'Meteonorm high', traduisant respectivement des conditions climatiques moyennes et extrêmes. Il est apparu à l'issue des comparaisons que le fichier 'Meteonorm average' était celui qui conduisait aux besoins de refroidissement les plus représentatifs de la période 2004-2008. Ce fichier a donc été choisi dans la suite de l'étude pour comparer les résultats des simulations dynamiques à ceux de la méthode PEB appliquée d'abord telle quelle, puis en supprimant partiellement ou totalement les deux majorations sécuritaires affectant les conditions climatiques.

Les comparaisons entre simulations dynamiques et méthode PEB ont conduit à supprimer la majoration de 10% des gains solaires et à ne hausser la température extérieure que de 1°C au lieu de 2°C actuellement, sans changer le fichier météo utilisé dans la méthode actuelle.

Une des méthodes passives de réduction des besoins de refroidissement (et également la surchauffe, voir section 4) est d'augmenter la ventilation du bâtiment par ouverture des fenêtres. Une autre proposition de modification de la méthode a donc consisté à prendre en compte celle-ci en ajoutant un débit d'air supplémentaire à l'équation (4), $\dot{V}_{free,nat,cool,sec\ i}$, dépendant de la surface totale des ouvrants du secteur énergétique i .

3.3. Impact des modifications apportées

Les comparaisons effectuées entre la méthode actuelle, la méthode modifiée et les simulations dynamiques réalisées avec le fichier météo ‘Meteonorm average’ sont illustrées à la Figure 1 pour les 3 bâtiments de référence (maison de rangée, maison 4 façades et appartement) complets (zones ‘de jour’ et ‘de nuit’ réunies). Les besoins nets annuels de refroidissement de la méthode PEB modifiée (barres blanches) se voient diminuer de 30 à 50% par rapport à ceux obtenus par la méthode actuelle (barres noires).

L’ajout de la prise en compte de l’ouverture des fenêtres dans la ventilation se traduit par une diminution des besoins de refroidissement de 25 à 60%, cette diminution étant plus grande pour les bâtiments de très bonne qualité, voir Figure 2.

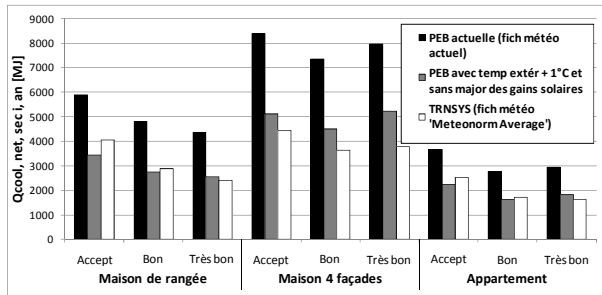


Figure 1 : Comparaison entre besoins nets annuels de refroidissement calculés par TRNSYS et par la méthode PEB avec les majorations sécuritaires actuelles et modifiées

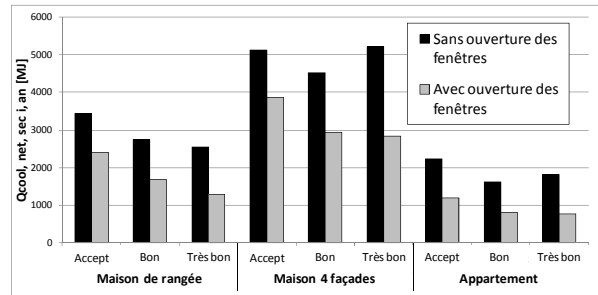


Figure 2 : Effet de la prise en compte de l’ouverture des fenêtres sur les besoins nets annuels de refroidissement calculés par la méthode PEB

4. Analyse de l’évaluation du risque de surchauffe

4.1. Définition de l’indicateur de surchauffe dans la méthode PEB actuelle

Cet indicateur est défini pour la totalité du bâtiment ou pour chaque secteur énergétique. Dans une première étape, on évalue les gains excédentaires mensuels normalisés, donnés pour un mois m par la relation suivante [2] :

$$Q_{excessnorm,sec i,m} = \frac{(1 - \eta_{util,overh,sec i,m}) \cdot Q_{g,overh,sec i,m}}{H_{T,overh,sec i,m} + H_{V,overh,sec i,m}} \cdot \frac{1000}{3,6} \quad (5)$$

dans laquelle $Q_{excessnorm,sec i,m}$ correspond aux gains de chaleur mensuels normalisés [Kh], $\eta_{util,overh,sec i,m}$ est le taux d’utilisation des gains de chaleur mensuels d’un secteur énergétique i , calculé dans le cadre de la détermination du risque de surchauffe [-], $Q_{g,overh,sec i,m}$ représente les apports gratuits [MJ] et les valeurs $H_{T,overh,sec i,m}$ et $H_{V,overh,sec i,m}$ sont respectivement les coefficients de déperdition mensuels par transmission et ventilation [W/K].

La somme des valeurs mensuelles donne l’indicateur de surchauffe, $I_{overh,sec i}$, exprimé en Kelvin-heures. Il revient à évaluer le nombre de degrés-heures de surchauffe comptabilisés à partir de 18°C. Il dépend des gains et des pertes de chaleur, et de l’inertie thermique du bâtiment. On considère qu’il y a risque de surchauffe dès qu’il dépasse 8000 Kh et selon la réglementation actuelle, il ne peut excéder 17500 Kh (révision du projet ou amende).

De cet indicateur est déduite la grandeur p_{cool} , introduite à la section 3.1, qui représente la probabilité qu’une installation de refroidissement actif soit effectivement placée. Cette probabilité est nulle lorsque l’indicateur $I_{overh,sec i}$ est inférieur à 8000 Kh et vaut 1 lorsqu’il est supérieur à 17500 Kh. Elle varie linéairement pour des valeurs d’indicateur intermédiaires.

4.2. Inconvénients de l'indicateur de la méthode PEB

L'un des reproches formulés à l'égard de ce mode d'évaluation du risque de surchauffe est qu'il est difficile d'en appréhender les résultats en raison du fait qu'il est calculé à partir de 18°C, qui n'est pas une température à partir de laquelle de l'inconfort thermique dû à de la surchauffe est ressenti par les occupants. Par ailleurs, dans l'état actuel de la méthode, le taux de renouvellement global d'air (reprenant la ventilation hygiénique et la perméabilité à l'air des parois) considéré est toujours forfaitairement pris étant égal à 1.

4.3. Indicateurs dérivés du modèle PMV-PPD

Le modèle PMV-PPD, développé par Fanger en 1970 [3], permet de déterminer le niveau d'insatisfaction des occupants d'un bâtiment vis-à-vis des conditions thermiques qui y règnent. Le PMV (vote moyen prévisible) permet de déterminer la sensation thermique moyenne ressentie par l'ensemble des occupants et se place sur une échelle s'étalant de -3 (très froid) à 3 (très chaud). Il est déterminé à l'aide de six paramètres : température radiante, température de l'air, taux d'humidité relative, vitesse de l'air, habillement et activité des occupants. Le PPD (pourcentage d'occupants insatisfaits) déduit du PMV, est minimum (5%) pour un PMV neutre de 0 et évolue symétriquement par rapport à cette valeur. Un PMV de ± 3 donne lieu à un PPD de 100 % (totale insatisfaction). La norme européenne EN 15251 [4] définit trois classes de confort correspondant à des plages de valeurs du PMV. Dans le cadre du projet EPICOOOL, la classe de confort adoptée pour les bâtiments résidentiels est la classe B. Cela implique que : $-0,5 < \text{PMV} < 0,5$ et $\text{PPD} < 10\%$.

De cette théorie est déduit un indicateur de surchauffe, noté $\text{TO}(\text{PMV} > 0,5)$, qui consiste à sommer sur l'année le nombre d'heures pour lesquelles le PMV est supérieur à 0,5. Un autre indicateur, $\text{GTO}(\text{PMV} > 0,5)$, consiste à pondérer ce nombre d'heures en fonction de l'importance de l'écart entre le PMV et 0,5. Plus cet écart (noté w_f dans la norme EN 15251 [4]) est important pour une certaine heure, plus cette heure a de poids dans la somme.

4.4. Corrélations entre les différents indicateurs et propositions de modifications de la méthode PEB

En mettant en relation les indicateurs dérivés du modèle de Fanger avec les indicateurs $I_{\text{overh,sec } i}$ de la méthode actuelle, il est d'abord apparu que les corrélations étaient meilleures en employant un indicateur $I_{\text{overh,sec } i}$ modifié, à savoir, en considérant une température à partir de laquelle les degrés-heures sont comptabilisés de 23°C (égale à la température de consigne de refroidissement) au lieu de 18°C et un taux de renouvellement d'air réel (ventilation hygiénique et perméabilité à l'air) et non plus forfaitaire. Ensuite, les corrélations se sont également révélées meilleures en considérant $\text{TO}(\text{PMV} > 0,5)$ ($R^2 = 0,871$) au lieu de $\text{GTO}(\text{PMV} > 0,5)$ ($R^2 = 0,805$). Ces dernières corrélations ont été établies en faisant varier le débit de ventilation hygiénique et les gains internes sur une plage allant de 50% à 200% de leur valeur de base. Au vu de cette bonne corrélation, les modifications au niveau de l'indicateur $I_{\text{overh,sec } i}$ ont donc été adoptées. En employant l'équation de la droite de régression, les bornes inférieure et supérieure de l'indicateur de surchauffe ont été déplacées respectivement de 8000 à 1000 Kh et de 17500 à 6500 Kh.

Comme pour le refroidissement, l'ouverture des fenêtres a été ajoutée et prise en compte avec un débit de ventilation supplémentaire dépendant de la surface totale des ouvrants.

4.5. Impact des modifications apportées

Les graphiques des Figures 3 et 4 reprennent, pour les trois niveaux de qualité des trois bâtiments de référence, les probabilités conventionnelles d'installation de refroidissement

actif, $p_{cool,sec\ i}$, issues des indicateurs $I_{overh,sec\ i}$, calculés respectivement par la méthode actuelle et modifiée, sans et avec la prise en compte de l'ouverture des fenêtres.

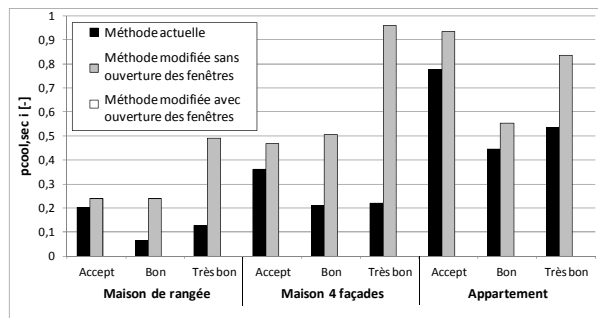


Figure 3 : Comparaison entre les $p_{cool,sec\ i}$ obtenus par la méthode actuelle et la méthode modifiée – Zone de jour des bâtiments

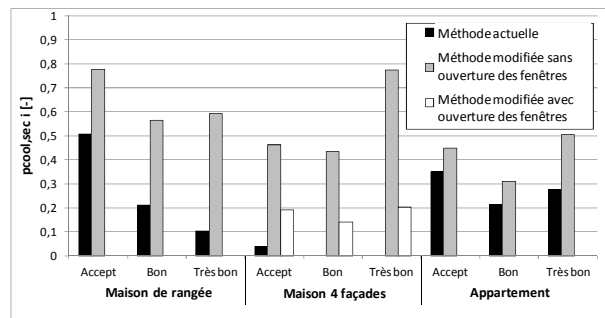


Figure 4 : Comparaison entre les $p_{cool,sec\ i}$ obtenus par la méthode actuelle et la méthode modifiée – Zone de nuit des bâtiments

On constate que la méthode modifiée est plus sévère que l'actuelle, lorsque l'ouverture des fenêtres n'est pas prise en compte : cela est dû au fait que le taux de renouvellement d'air (ventilation hygiénique et perméabilité à l'air) des bâtiments considérés est inférieur à la valeur forfaitaire de 1 et donc moins favorable. Par contre, tenir compte de l'ouverture des fenêtres pour remédier à la surchauffe a pour effet de diminuer fortement les probabilités $p_{cool,sec\ i}$, voire de les annuler dans la majorité des cas : seule la maison quatre façades présente des probabilités non nulles dans la zone de nuit. Cela résout donc le problème de la surchauffe.

5. Conclusions

L'étude avait pour objectif la révision de la méthode PEB au niveau de la prise en compte des conditions estivales en la confrontant à des simulations dynamiques plus réalistes. Pour le calcul des besoins de refroidissement, les modifications ont consisté à affiner les majorations sécuritaires appliquées aux conditions climatiques et la prise en compte de la ventilation, tandis que pour l'évaluation de la surchauffe, le but était de rendre plus aisément interprétable l'indicateur de surchauffe existant tout en améliorant son calcul. Les différentes simulations ont montré que la prise en compte précise de l'ouverture des fenêtres dans la ventilation joue un rôle non négligeable tant sur les besoins de refroidissement que sur le risque de surchauffe.

Références

- [1] Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, Directive 2002/91/CE du Parlement européen et du conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments ; Journal officiel des Communautés européennes, 4 janvier 2003, L 1/65 – L 1/71.
- [2] Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale, Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale déterminant les exigences en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments (Annexe II), *Moniteur Belge*, 37 (2008), 6314-6418.
- [3] P. O. Fanger, Thermal Comfort, McGraw-Hill Book Company (1970).
- [4] Comité Européen de Normalisation, Norme européenne EN 15251:2007 (version belge), Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique, Bureau de Normalisation (2007).

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet EPICOOOL, financé par la Région de Bruxelles-Capitale, dont l'objet est d'améliorer la réglementation bruxelloise en matière de Performance Énergétique des Bâtiments au niveau de la détermination des besoins de refroidissement dans les bâtiments résidentiels et tertiaires.