

## Evaluation et perspectives du modèle thermique de COMETH, le cœur de calcul de la réglementation thermique des bâtiments neufs

David DA SILVA\*<sup>1</sup>, Jean-Marie ALESSANDRINI<sup>1</sup>, Jean-Baptiste VIDEAU<sup>1</sup>, Charles PELE<sup>1</sup>, Jean-Robert MILLET<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

84, avenue Jean Jaurès, 77447 Champs-sur-Marne

\*[David.dasilva@cstb.fr](mailto:David.dasilva@cstb.fr)

---

**RESUME :** Le CSTB développe depuis de nombreuses années, COMETH, logiciel de simulation énergétique dynamique des bâtiments. Sa clef de voûte, le bilan thermique, a été utilisée dans le cadre de la Réglementation Thermique 2000 pour s'assurer que le confort thermique d'été était préservé dans les bâtiments non climatisés. Ainsi sa diffusion à l'échelle nationale, dès 2001, a permis de rendre, l'ensemble de ces paramètres et leurs ordres de grandeur, familiers aux acteurs, facilitant ainsi l'évaluation de solutions techniques au cours du projet. Nous présentons ici son adaptation au secteur du bâtiment, de part, son articulation avec les différents textes de référence de la profession. Nous démontrons également sa capacité à reproduire les transferts de chaleur grâce aux résultats issus de sa confrontation au standard Ashrae140. La discussion ouvre sur sa modularité et sa capacité à produire des résultats solides, à partir de données d'entrée agglomérées dans la perspective de l'utiliser pour élaborer des solutions techniques en phases amont dans la conception du bâtiment.

**MOTS-CLÉS :** Transferts thermiques, Simulation Thermique Dynamique, Normalisation

---

**ABSTRACT.** COMETH is dynamic energy simulation software developed by the CSTB. Its key stone is the heat balance model that is used since the 2000 thermal French regulation. In the beginning, it was developed to ensure a good thermal comfort for non-cooled buildings but it was quickly adapted for other purposes. The large dissemination of this model and its connection with the different building product standards, allowed the whole profession to get familiar with its inputs. This feature helped the use and evaluation of new technical solutions for better building energy efficiency. In this paper, we present the adjustment of the building sector and its articulation with the different building references (standards...). The aptitude of the thermal model to reproduce the thermal heat transfers is also presented by the application of the ASHRAE 140 standard. The use of COMETH in earlier phases of building design is discussed and perspectives for further developments are drawn.

**KEYWORDS:** Heat transfer, Dynamic thermal simulation, Standards

---

### 1. INTRODUCTION

Le modèle thermique de COMETH a été développé au CSTB initialement pour s'assurer que le renforcement des exigences énergétiques dans la réglementation thermique 2000 (Arrêté du 29 novembre 2000, 2000) n'entraînait pas une dégradation du confort thermique d'été néfaste pour les occupants. Le calcul de confort thermique, toujours existant dans la réglementation thermique actuelle, consiste à déterminer la température intérieure de confort, température opérative horaire maximale au cours d'une journée chaude. Sa détermination suppose de faire un calcul dynamique sur une journée chaude avec un pas de temps horaire. Ce modèle a été complété pour devenir un logiciel de simulation

énergétique dynamique du bâtiment. Ainsi, il a pu être étendu aux calculs de l'ensemble des indicateurs performantiels des réglementations thermiques qui se sont succédées jusqu'à aujourd'hui grâce à sa robustesse, sa rapidité de calcul, sa modularité et sa relative simplicité d'utilisation. Nous proposons dans l'article de présenter son originalité et son adaptation au secteur du bâtiment. Par ailleurs, de manière à renforcer sa capacité à reproduire la dynamique des transferts de chaleur sur un cas réel, les résultats de sa confrontation au standard Ashrae140 (ASHRAE, 2001) sont également exposés. La discussion ouvre sur sa modularité et sa capacité à conduire à des résultats à partir de données d'entrée agglomérées dans la perspective de son utilisation dans des phases plus amont dans la conception du bâtiment.

## 2. LA COMPATIBILITE DU MODELE THERMIQUE DE COMETH AVEC LES REGLES PROFESSIONNELLES

Il n'est pas anodin de rappeler le contexte à l'époque de la création du modèle COMETH. La réglementation thermique 2000, qui venait remplacer la réglementation de 1988, nécessitait le recours systématique à l'informatique en exigeant un calcul mois par mois pour le calcul de la consommation et heure par heure sur une journée pour le calcul du confort d'été. Ainsi, il y a quinze ans tous les professionnels susceptibles de faire un calcul réglementaire allaient-ils avoir à leur disposition un outil de calcul numérique capable de réaliser un bilan thermo-aéraulique, pour la partie confort d'été, à chaque pas de temps. Aujourd'hui la méthode TH-BCE 2012, qui reprend le cœur de COMETH, s'applique à toutes les constructions neuves, donc cela suppose que les paramètres soient disponibles et opposables. Par ailleurs, le temps concédé au calcul réglementaire doit être cohérent au coût de la prestation. Finalement, le calcul doit rendre compte à sa juste proportion de l'impact de chaque paramètre. Ces exigences, en réponse à l'évolution législative et aux contraintes de la profession, sont à l'origine du cahier des charges original de ce modèle thermique.

Plus précisément, la réglementation et la pratique sont indissociables. De fait, la réglementation utilise des paramètres et donne des indicateurs de performance qui comparés à un seuil et à une référence vont valider le caractère réglementaire ou non d'une opération. Les professionnels s'en saisissent, jusqu'à connaître, pour les plus aguerris, les ordres de grandeur associés aux solutions techniques mises en œuvre facilitant les orientations à donner à la conception. Lorsqu'en 2000 est introduit le modèle thermique dynamique de COMETH, la première réglementation thermique en 1974, est familière à une génération de thermiciens. La méthode doit donc réaliser une synthèse entre les grandeurs disponibles chez les industriels, familières des bureaux d'études, celles nécessaires pour la représentation dynamique des transferts de chaleur et celles opposables pour l'utilisateur.

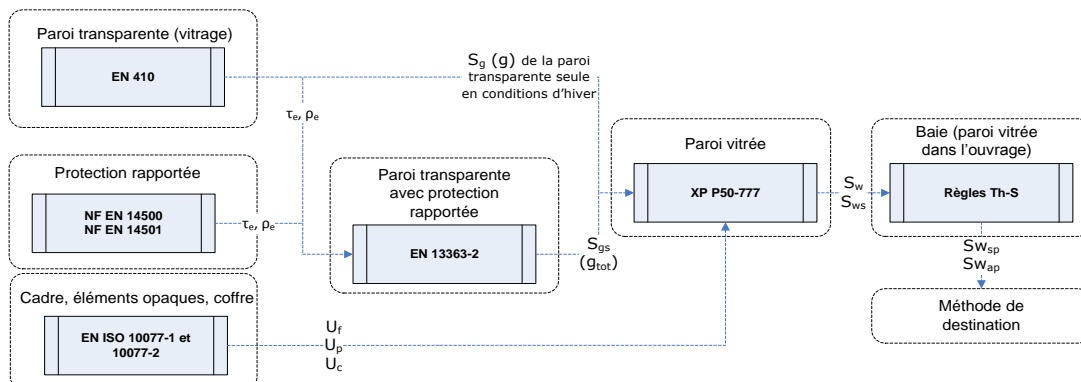


Figure 1 – Interconnexion entre les différentes normes et le calcul thermique dynamique

La figure précédente extraite des règles Th-S montre l'articulation entre les documents normatifs et les textes réglementaires pour la fenêtre qui joue un rôle clé dans la dynamique des transferts de chaleur. Les méthodes de destination sont, en l'occurrence, les méthodes de calcul pour l'application des réglementations thermiques dans les bâtiments neufs et existants qui font appel au bilan thermique dynamique de COMETH.

Les normes permettent de caractériser des produits à l'aide de méthode consensuelles pour une profession et dont les conditions pour les établir sont partagées. Elles jouissent donc à la fois d'une reconnaissance collective et ont un lien avec leurs caractéristiques effectives dans des conditions normalisées. Maîtrisant ces conditions, connaissant ces valeurs, il est alors possible de les adapter en fonction de la situation particulière du produit étudié ou des conventions réglementaires. L'intégration dans l'ouvrage d'un produit peut modifier ses caractéristiques. Pour tenir compte de cette évolution des règles professionnelles ont été écrites pour permettre de paramétrer les logiciels de calcul. Par exemple, les caractéristiques du vitrage sont modifiées par son intégration dans l'ouvrage, qui va créer des phénomènes d'ombrage, et par l'incidence du rayonnement solaire direct. Cependant, ces variations, liées au contexte, ne peuvent par définition être normalisées. La création de règles professionnelles, avec la mise à disposition de méthodes ou de tableaux de données, permettent d'accéder à un calcul permettant de faire le lien depuis la norme, donc le produit, jusqu'à son impact sur la consommation du bâtiment.

### 3. LE MODELE THERMIQUE – COMETH

Le modèle thermique est inspiré de la norme ISO 13790 (ISO 13790, 2008) qu'il a d'ailleurs aidée à bâtir. Il est basé sur la simplification du transfert de chaleur entre l'environnement intérieur et extérieur à partir d'une analogie électrique. Le calcul est réalisé à l'échelle d'un local supposé avoir des sollicitations thermiques et aérauliques homogènes. On distingue les parois selon leur réaction à une variation de sollicitation thermique d'une heure :

- Si la paroi est en régime transitoire alors elle est considérée épaisse. A une variation en régime établi sera ajoutée une correction pour tenir compte du régime transitoire
- Si la paroi est en régime établi dans l'heure alors, la paroi est considérée fine. Par simplification, seules les parois vitrées sont regroupées dans cette deuxième catégorie.

Les échanges par rayonnement dans l'ambiance sont simplifiés en considérant les parois de surfaces égales et de même facteurs de forme. La représentation des composants du bâtiment est faite ainsi à partir d'un réseau électrique équivalent avec 5 résistances et une capacité (5RC).

Les parois épaisses et fines sont considérées homogènes thermiquement.  
Les températures des parois épaisses et fines doivent être proches

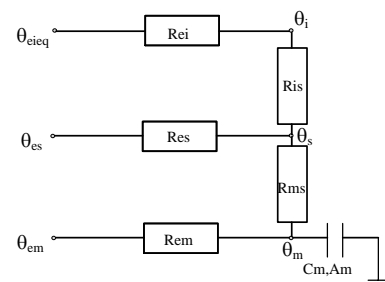


Figure 1 – Réseau 5RC

Ce modèle est décrit plus en détail dans (Jean-Baptiste Videau, 2013) et dans (Arrêté du 30 avril 2013, 2013).

#### 4. EVALUATION COMETH - NORME ASHRAE 140

Dans une première vérification, le modèle thermique de COMETH a déjà été validé par rapport à la norme EN 15265 (EN 15265, 2008). Dans un objectif de renforcer la cohérence des résultats de ce modèle, nous les avons comparés à ceux de la norme ASHRAE 140. Dans cette partie nous montrons la capacité, d'une part, du modèle à reproduire les besoins de chaud et de froid, d'autre part, les températures maximales obtenues en évolution libre. Ces grandeurs sont à la base de la construction des indicateurs réglementaires respectivement Bbio et Tic.

##### 4.1. NORME ASHRAE 140

La norme ASHRAE 140 ou BESTEST (Building Energy Simulation TEST) est un test d'évaluation pour les logiciels de simulation énergétique dans le bâtiment mis en œuvre par l'agence internationale de l'énergie (AIE). Il est aussi connu comme la norme ANSI/ASHRAE Standard 140-2001.

De façon synthétique, la procédure BESTEST permet de :

- Comparer les résultats d'un logiciel de simulation avec des logiciels de référence,
- Comparer différents logiciels de simulation en vue d'apprécier les différences entre eux,
- Déterminer les sources de différence entre les logiciels au niveau algorithmique,
- Contrôler un logiciel par rapport à une version antérieure,
- Contrôler un logiciel par rapport à lui-même en changeant à chaque fois un paramètre par rapport à une condition initiale.

Toute la description du bâti est détaillée dans la norme. Une liste non-exhaustive est présentée ci-dessous : Absorptivités et émissivités des parois intérieures et extérieures ; position, surface et dispositif d'ombrage des vitrages ; Puissance des apports internes ; Taux d'infiltration ; coefficients de convection et radiation intérieures et extérieures ; etc. Dans la suite de cette étude, le modèle thermique COMETH utilisé est strictement celui de la réglementation, il n'a pas été modifié, sauf pour les constantes physiques énoncées dans la norme ASHRAE (Coefficients d'échange thermique extérieurs et intérieurs et la masse volumique de l'air) et pour les conventions exigées dans la réglementation thermique (saisons de chauffage et climatisation, scénarios des apports internes,...)

Le bâtiment testé est monozone et décrit de façon très simple. Ce bâtiment est entièrement soumis au climat extérieur sévère excepté au niveau du sol où il est fortement isolé.

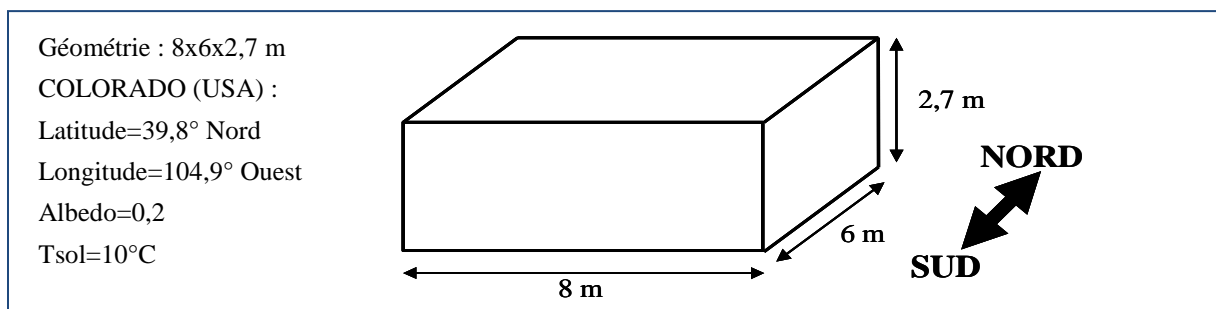


Figure 2 – Géométrie du bâtiment BESTEST

Les configurations des cas test permettent de tester les différents composants du bâtiment et ses caractéristiques. Ces configurations sont présentées brièvement ci-dessous :

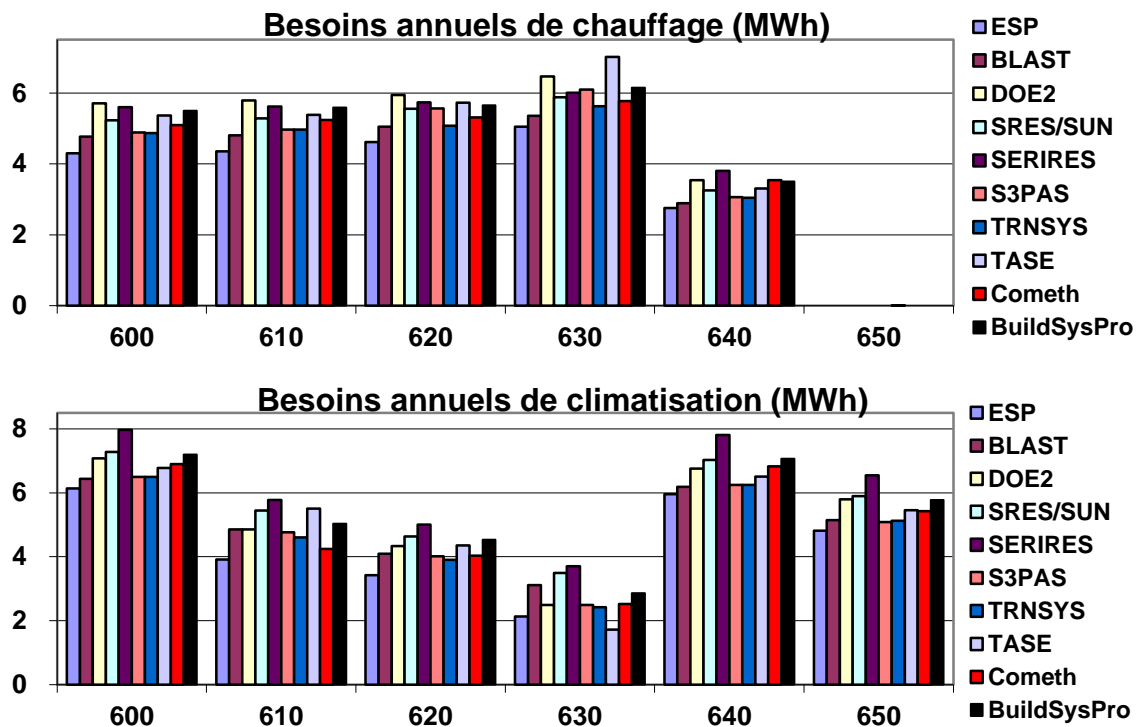
	Inertie	Baies			Consignes Chauffage et Froid (°C)
		m <sup>2</sup>	orientation	masques	
600	Inertie légère	12	S	-	Ch=20 ; Fr= 27
610		12	S	horizontal	Ch=20 ; Fr= 28
620		6 / 6	E / O	-	Ch=20 ; Fr= 29
630		6 / 6	E / O	vertical et horizontal	Ch=20 ; Fr= 30
640		12	S		Ch=20/10 réduit nuit ; Fr=27
650		12	S		Ch=NA ; Fr=27; ventilation nocturne
900	Inertie lourde	12	S	-	Ch=20 ; Fr= 27
910		12	S	horizontal	Ch=20 ; Fr= 28
920		6 / 6	E / O	-	Ch=20 ; Fr= 29
930		6 / 6	E / O	vertical et horizontal	Ch=20 ; Fr= 30
940		12	S		Ch=20/10 réduit nuit ; Fr=27
950		12	S		Ch=NA ; Fr=27; ventilation nocturne

Table 1 – Cas Test de la procédure BESTEST

Le critère de validation est composé de valeurs annuelles des besoins de chauffage et climatisation, ainsi que des valeurs maximales de ces besoins. Les températures maximales, moyennes et minimales en évolution libre sont aussi évaluées. D’autres critères plus détaillés existent comme les évolutions horaires des besoins et des températures sur des journées représentatives. Néanmoins, ces derniers indicateurs ne sont pas analysés dans la présente étude.

#### 4.2. RESULTATS

Ci-dessous nous présentons la comparaison entre COMETH et les autres valeurs des autres logiciels présents dans la norme ASHRAE140.



Tous les résultats en termes de besoins de chauffage et climatisation pour les cas à inertie légère sont dans les fourchettes proposées par les autres logiciels.

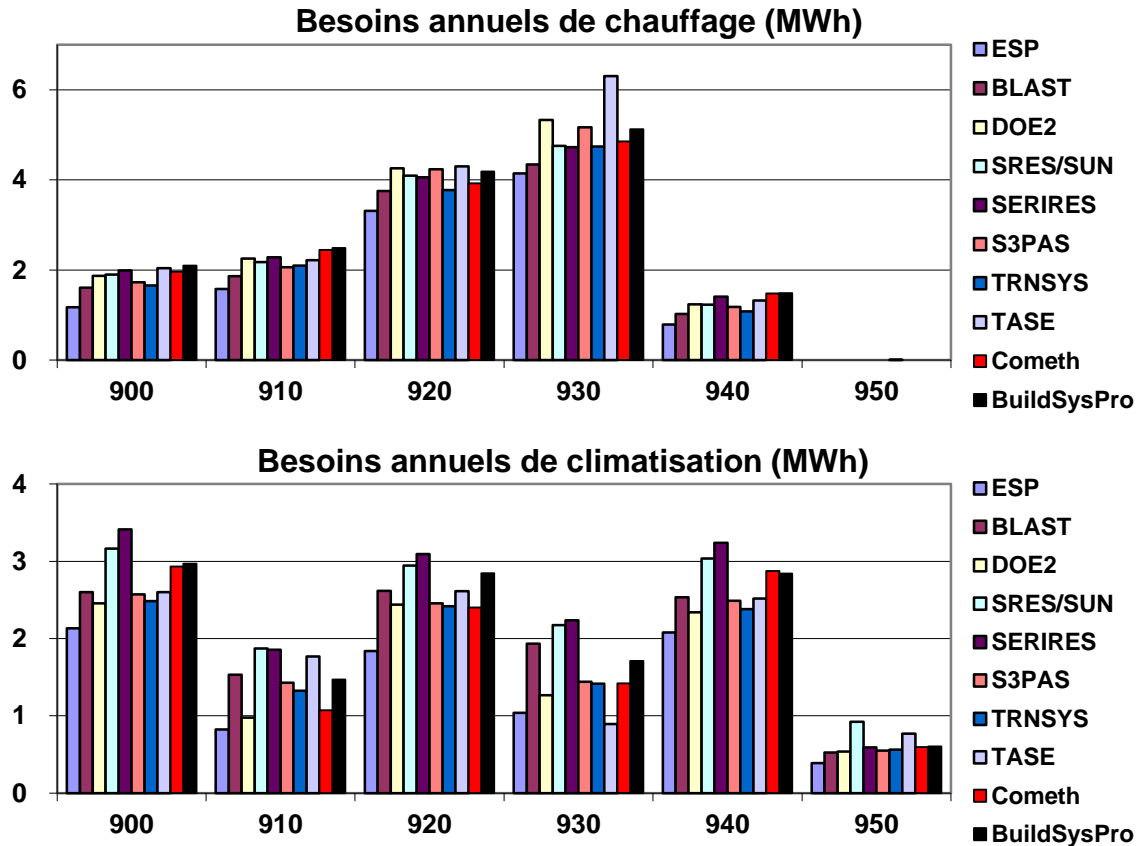


Figure 4 – Besoins annuels de chauffage et climatisation pour les cas inertie lourde

Les résultats pour les cas à inertie lourde montrent aussi une bonne corrélation avec les résultats des autres logiciels. A noter une très légère surestimation des besoins de chauffage pour les cas 910 et 940 en chauffage. Au final, on peut conclure que le calcul du modèle thermique COMETH est comparable en termes de besoins aux autres logiciels dynamiques présentés dans la norme. Les besoins en termes de chauffage et climatisation sont utilisés dans la méthode réglementaire actuelle pour déterminer le besoin bioclimatique Bbio (Jean-Baptiste Videau, 2013).

La figure suivante compare les températures maximales atteintes pour les cas 600, 900, 650 et 950 en évolution libre (FF- *free float*) pour les différents logiciels.

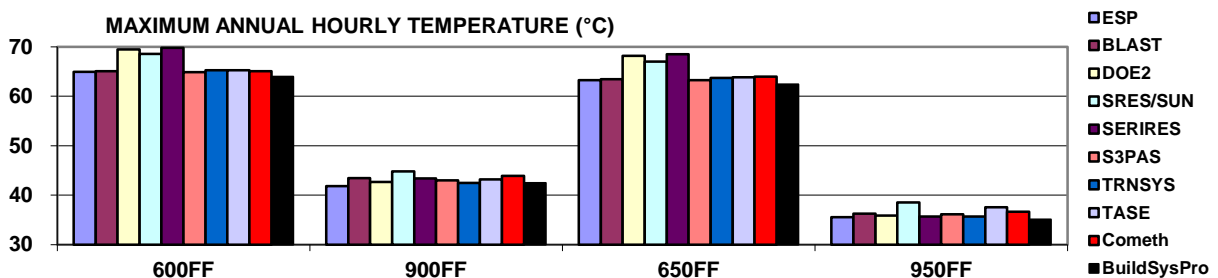


Figure 5 – Températures maximales pour les cas en évolution libre

Le modèle thermique COMETH reproduit bien les valeurs maximales de température. Bien qu'il s'agisse d'une température d'air, la fidélité avec les autres logiciels est de nature à renforcer la capacité du modèle thermique à reproduire les impacts des paramètres sur l'indicateur de confort

d'été, en l'occurrence la température opérative intérieure de confort (indicateur « Tic » RT2012). A noter que cette température, TIC, comporte un correctif statique pour tenir compte des effets séquentiels<sup>1</sup>. Compte tenu des caractéristiques des cas BESTEST les effets inertiels sont négligeables.

## 5. DISCUSSION

Une particularité du présent modèle consiste dans la possibilité d'utiliser des valeurs d'entrée issues des normes produit et des méthodes normalisés, ce qui permet d'avoir des paramètres d'entrée standardisés utilisables par la profession notamment dans les documents de consultation, à l'instar du CCTP pour en garantir l'impartialité (Code des marchés publics, 2006). L'exemple que nous avons vu auparavant illustre ce cheminement.

Le modèle présenté constitué de trois nœuds avec une capacité et cinq résistances est relativement simple. Le choix de ne fonctionner qu'avec une seule capacité pour l'ensemble de l'enveloppe est audacieux. Malgré cela les résultats de la norme ASHRAE 140 et de la norme CEN (EN 15265, 2008), confirment sa capacité à reproduire les besoins annuels de chauffage et refroidissement et les températures maximales horaires.

La norme Ashrae met à disposition plus de paramètres en fonction du niveau de détail des outils numériques, notamment elle propose de tenir compte des caractéristiques du vitrage en fonction de l'angle d'incidence ce qui modifie la dynamique des apports solaires. Bien qu'il existe des méthodes détaillées robustes pour déterminer cette évolution dynamique, elles exigent de connaître des valeurs sous un angle à 0° à 90°, par pas de 10°. Cependant, en général, seules les valeurs sous incidence normale sont disponibles et sont opposables. C'est pour cela que le modèle thermique de COMETH fonctionne avec une valeur sous incidence normale à laquelle nous attribuons un correctif statistique moyenné sur une période de l'année, selon le critère calculé<sup>2</sup>, en fonction de la position, de l'orientation et de l'inclinaison (CSTB, 2012). Nous voyons que cette valeur moyenne n'affecte pas la précision de nos résultats pour un calcul en cumul et en extremum (Figure 5). Or le bâtiment testé, très vitré sur un site fortement ensoleillé, peut présenter des flux avec des écarts très importants, comme le laisse penser les températures atteintes (Figure 5). Autrement dit, la prise en compte de l'évolution dynamique des caractéristiques du vitrage en fonction de l'angle d'incidence, accentue les fluctuations des flux solaires. Dès lors, il faut s'assurer que la modélisation des interactions entre les flux et l'enveloppe, reproduit bien la dynamique des phénomènes d'absorption et d'émission de la chaleur sensible.

Le travail de collaboration avec EDF, mené dans le cadre du projet MODEBAT, a pour objectif, entre autres, d'étendre la comparaison inter-logicielle sur des bâtiments BBC où les apports solaires deviennent prédominants et pour lesquels les besoins de climatisation peuvent être importants. Les travaux en cours, de comparaison avec l'outil détaillé BuildSysPro, qui permet d'évaluer plus précisément l'impact des flux solaires dans une pièce (notamment vis-à-vis des coefficients d'échange intérieur, du facteur solaire de la baie vitrée et des coefficients de réflexion solaire en courtes

---

<sup>1</sup> - Avec l'inertie séquentielle est prise en compte la réaction du bâtiment soumis à une onde de température extérieure sous une période de 12 jours.

<sup>2</sup> Selon que le calcul vise à calculer la consommation sur un bâtiment uniquement chauffé ou également climatisé, ou une température de confort sur une journée chaude la période pour déterminer le correctif du facteur solaire n'est pas la même.

longueurs d'onde et d'émissivité des parois internes), ont pour vocation d'affiner ainsi le paramétrage du facteur solaire de COMETH.

A l'issue de ce travail nous serons en mesure de proposer des améliorations ou de confirmer la capacité du modèle à reproduire ces flux tout en conservant le même niveau de saisie des paramètres du modèle et la même exigence de résultats (sur les cumuls et les extremums). L'objectif visé est de reproduire fidèlement la dynamique horaire, quel que soit l'amplitude des variations de flux.

## 6. CONCLUSION

Le modèle thermique présenté a été créé en prenant en compte les différentes contraintes de la profession. Malgré sa simplicité, il s'agit d'un modèle robuste et adapté à l'utilisation par les différents acteurs du bâtiment via ses entrées dérivées des normes produit et règles professionnelles.

Les résultats présentés ici viennent renforcer l'aptitude du modèle thermique, des réglementations actuelles, à calculer fidèlement les besoins annuels de chauffage et de refroidissement ainsi que les pics de température. De fait, les résultats du modèle COMETH sont encadrés par le panel de résultats offert par BESTEST.

Des travaux sont en cours pour confirmer ces résultats sur les autres paramètres du standard ASHRAE 140, à savoir l'histogramme de température et les évolutions horaires sur une journée. La prise en compte d'un facteur solaire dynamique fait partie des possibles évolutions dont il conviendra, une fois intégrée, de s'assurer qu'elles répondent fidèlement à tous les critères de la norme ASHRAE. Gardons à l'esprit toutefois que seules les valeurs à la normale sont généralement disponibles.

Une démarche similaire est en cours pour intégrer la prise en compte dynamique des inerties séquentielles et annuelles.

Ce travail d'évaluation avec une norme internationale et l'exercice de comparaison, d'une part, numérique avec le logiciel BuildSYS Pro, d'autre part, expérimentale, dans le cadre du projet MODEBAT, nous permettent de valider et d'améliorer notre cœur de calcul. Ils nous offrent aussi l'opportunité d'élargir le domaine d'application de l'outil jusqu'à couvrir à terme l'ensemble du processus de conception d'un bâtiment, voire en phase d'exploitation.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- Arrêté du 29 novembre 2000, 2000. Arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments. *Legifrance*.
- Arrêté du 30 avril 2013, 2013. *Arrêté dy 30 avril 2013 : portant approbation de la méthode de calcul Th-BCE 2012 prévue aux articles 4, 5 et 6 de l'arrêté du 26 octobre 2010*. s.l.:Legifrance.
- ASHRAE, 2001. *ANSI/ASHRAE Standard 140-2001*. s.l.:s.n.
- Code des marchés publics, 2006. *Chapitre V : Documents constitutifs du marché. article 13 Cahier des Clauses Techniques Particulières..* s.l.:s.n.
- CSTB, 2012. Guide réglementaire, Réglés Th-S. Dans: *Annexe à l'arrêté portant approbation de la méthode de calcul TH-BCE 2012*. s.l.:s.n.
- EN 15265, 2008. *Titre : Performances thermiques des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux - Critères généraux et procédures de validation*. s.l.:s.n.
- ISO 13790, 2008. *Performance énergétique des bâtiments -- Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux*. s.l.:s.n.
- Jean-Baptiste Videau, J.-M. A. B. H. C. P. J.-R. M. P. J. L. R. E. F., 2013. *An Introduction to the Development of French Energy Regulation Indicators and their calculation methods*.