

# ANALYSE DU COMPORTEMENT DE DIFFERENTS CODES DE CALCUL DANS LE CAS DE BATIMENTS À HAUTE EFFICACITE ENERGETIQUE

BRUN Adrien <sup>a\*</sup>, SPITZ Clara <sup>a&b</sup>, WURTZ Etienne <sup>a</sup>

<sup>a</sup> LOCIE Université de Savoie Chambéry

<sup>b</sup> CEA INES Chambéry

---

## RÉSUMÉ

De nombreux outils permettent d'estimer les performances énergétiques des bâtiments. Malgré leur diversité (calculs statiques réalisables dans une feuille de calcul jusqu'aux plateformes de simulation dynamiques) et la variété des utilisateurs (architectes, bureaux d'études, chercheurs), leurs finalités sont souvent communes : l'optimisation des bâtiments de sorte à réduire, annuler les consommations énergétiques voire produire de l'énergie.

Au vu de la nécessité d'utiliser ces outils de prédiction et des interrogations liées à leur pertinence pour l'étude de bâtiments à très basse consommation, nous nous sommes intéressés à la comparaison de réponses et d'indices que fournissaient 5 outils représentatifs du panel Français : EnergyPlus, TrnSys, CoDyBa, Pleiade et PHPP. Nous proposons de modéliser un bâtiment expérimental à haute efficacité énergétique actuellement en construction et situé sur le Technopole du Bourget du Lac qui fait partie de la plateforme de construction de bâtiments de recherche de l'INES (Institut National de l'Energie Solaire).

*Mots Clés : Outils de simulations, Bâtiments à haute efficacité énergétique, incertitudes,*

---

## NOMENCLATURE

### Symboles :

PH Plancher haut, élément  
PB Plancher bas, élément  
PI Plancher intermédiaire, élément  
PV Paroi verticale  
PVi Paroi Vitrée  
T température, K

$\phi$  densité de flux, W/m<sup>2</sup>

Hc Coefficient d'échanges convectifs ; W/(m<sup>2</sup>K)

### Indices / Exposants :

i interne  
Int Intérieur  
Ext Extérieur

### Lettres grecques :

## 1. INTRODUCTION

L'émergence d'une dynamique visant à réduire les consommations dans le secteur du bâtiment s'est traduite par l'apparition d'une nouvelle génération de bâtiments caractérisés notamment par l'absence de système de chauffage conventionnel.

Ce désir de rationalisation énergétique et d'optimisation se traduit de la part des professionnels

par la nécessité d'utiliser des outils d'estimation des performances à tous les stades de la conception. Si de nombreux outils de simulation numérique sont aujourd'hui disponibles sur le marché, peu ont spécifiquement été conçus pour cette nouvelle génération de bâtiments. Nous avons désiré effectuer l'exercice d'estimation des performances d'un bâtiment expérimental de nouvelle génération à l'aide du panel d'outils généralement utilisés en France.

\* [adrien.brun@univ-savoie.fr](mailto:adrien.brun@univ-savoie.fr)

Nous effectuerons dans un premier temps un bref descriptif des outils utilisés, puis une description du bâtiment expérimental modélisé ainsi que le cadre dans lequel il s'inscrit.

Ensuite nous détaillerons les hypothèses ainsi que 2 variantes (modification des échanges convectifs, utilisation des paramètres prédéfinis par les outils).

Enfin, nous présenterons les évolutions obtenues pour 2 journées (chaudes et froides) ainsi que les résultats annuels pour chacune des variantes.

## 2. DESCRIPTION DES OUTILS

Les 5 outils que nous avons sélectionnés correspondent à un panel très large d'utilisateurs (architecte, bureau d'étude, centre de recherche) et appartiennent à différentes catégories caractérisées par des niveaux d'expertises distincts. TITTELEIN propose de classer ces outils de la manière suivante : {PHPP, Pleiade,} *Obtenir des tendances (OT)*, {CoDyBa} *Optimiser l'enveloppe (OE)*, {EnergyPlus, TrnSys}. *Dimensionner les équipements de calcul et de consommation (DECC)*.

**EnergyPlus et TrnSys** : tous deux sont des outils de simulation dynamique modulaires intégrant d'importantes bibliothèques de modèles. Bien qu'appartenant à la même catégorie, les modèles de composant sont distincts. On peut citer à titre d'exemple les modèles de conduction au sein des parois (TrnSys : Fonction de transfert, EnergyPlus : choix entre fonction de transfert et différences finies), les modèles de ciel (TrnSys : choix entre ciel anisotrope et isotrope, EnergyPlus : ciel anisotrope).

**Pléiades+Comfie et CoDyBa** permettent également d'effectuer des calculs dynamiques. Tous deux sont des outils de type monolithique développés au sein de laboratoires français. Ils utilisent une technique de réduction de modèle permettant de réduire considérablement les temps de calcul.

**PHPP** est dédié aux bâtiments passifs. Il emploie une méthode de calcul statique basé sur un bilan énergétique mensuel définie dans EN13790.

Parmi ces outils certains s'imposent au niveau international (EnergyPlus : 46 000 téléchargements depuis Avril 2001, TrnSys : 958, PHPP : plusieurs milliers dans le monde et 600 licences en France) alors que d'autres sont principalement utilisés en France (Pleiade : 700 licences, CoDyBa : 50 licences).

## 3. PRESENTATION DU BATIMENT ETUDIE

### 3.1. Contexte de la plateforme INCAS

Implantée à l'INES (Institut National de l'Énergie Solaire) sur le technopôle du Bourget-du-lac, la plateforme INCAS est un espace dont les infrastructures permettront d'accueillir plusieurs constructions expérimentales. Parmi les constructions qui composeront cette plateforme, la première série de

bâtiments sera géométriquement identique, seul le mode constructif ainsi que les systèmes énergétiques employés seront modulés. Ces expérimentations, notamment dédiées à la validation de modèles numériques de bâtiments et de systèmes grandeur nature, seront à usage maîtrisé et conditions météorologiques subies.

### 3.2. Construction expérimentale



Figure 1 : Bâtiment expérimental

Dans cette étude nous avons considéré le bâtiment de type « double mur parpaing » actuellement en construction.

Largement ouvert sur la façade SUD (34% de surface vitrée) et de dimensions extérieures 7.50m x 8.50m, il se compose de deux niveaux.

L'association des épaisseurs d'isolation (variant entre 20 cm pour les parois verticales et 40 cm pour le plancher haut), du soin apporté lors de la conception et de la mise en œuvre des matériaux (infiltrations d'air et ponts thermiques structurels limités au maximum), des protections solaires (fixes et mobiles) pour la pénétration du rayonnement solaire durant la période estivale et du système de gestion énergétique (By-pass de l'échangeur, commande de l'ouverture de registres pour la ventilation naturelle et des stores extérieurs) en font un bâtiment à très haute efficacité énergétique.

## 4. PRESENTATION DU MODELE RETENU

### 4.1. Description des hypothèses retenues

*Consigne de chauffage* : La température de consigne de chauffage est de 19 [°C]. Aucune limite de puissance de chauffage n'a été fixée.

*Ponts thermiques* : Les ponts thermiques ne seront pas pris en compte.

*Protections solaires* : Seules les protections solaires SUD fixes sont considérées

*Echanges convectifs* : 2 variantes vont être testées. Dans le premier cas les coefficients d'échanges convectifs sont constants et égaux, imposés par Pléiade.

Tableau 2 : Coefficients d'échanges convectifs [W/(m²K), Simulation1]

PB		PV		Pvi		PI		PH	
Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Plaf	Plac	Int	Ext
1.8	3.3	3.3	14.9	3.3	14.9	3	3	4.6	18.9

Dans un second temps nous avons utilisé des valeurs annuelles moyennes. Ces grandeurs ont été déterminées à l'aide des corrélations utilisées par EnergyPlus (« detailed convection algorithm »). Effectivement, EnergyPlus et TrnSys permettent d'évaluer ces coefficients à chaque pas de temps par le biais de corrélations intégrant les écarts de température entre les surfaces considérées et l'air.

Tableau 3 : Coefficients d'échanges convectifs  
[W/(m<sup>2</sup>K), Simulation 2

PB		PV		Pvi		PI		PH	
Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Plaf	Plac	Int	Ext
1.0	1.3	1.1	5.6	1.9	3.6	1.0	0.9	1.0	2.4

**Ventilation naturelle :** La majorité des outils utilisés ne permet pas d'effectuer des calculs de ventilation naturelle. Par conséquent, les volumes intermédiaires formés par le vide sanitaire et le comble n'ont pas été modélisés. Ils sont considérés parfaitement ventilés et donc à la température extérieure

**Echangeur double flux :** La version utilisée de CoDyBa n'intègre pas de modèle de ventilation double flux avec récupérateur d'énergie. Par conséquent, nous avons considéré un débit de renouvellement d'air équivalent du point de vue énergétique à une ventilation double flux ce qui est équivalent à une réduction du débit<sup>1</sup>.

**Gestion de l'énergie, ventilation et infiltrations :** Les outils dynamiques utilisés peuvent être classés en 2 catégories concernant la gestion des systèmes énergétiques. Les outils de 1<sup>ère</sup> catégorie autorisent l'intégration de leurs propres algorithmes permettant d'effectuer un contrôle dynamique des systèmes. Les outils de 2<sup>ème</sup> catégorie demandent de définir au préalable les scénarios de fonctionnement des appareils et systèmes.

Nous avons effectué deux séries de simulations afin d'obtenir des performances estivales et hivernales sans rentrer dans un processus de description annuelle de fonctionnement. La première, de type hivernal, utilise un débit de ventilation réduit (*équivalent énergétique d'une ventilation de 0.5 [vol/h] couplée à un échangeur de chaleur d'un rendement de 75 [%]*). La seconde, de type estival, avec des débits mécaniques de ventilation majorés (*2 [Vol/h] en permanence*).

<sup>1</sup>Cette équivalence n'est valable que lorsque les températures extérieures sont inférieures aux températures intérieures

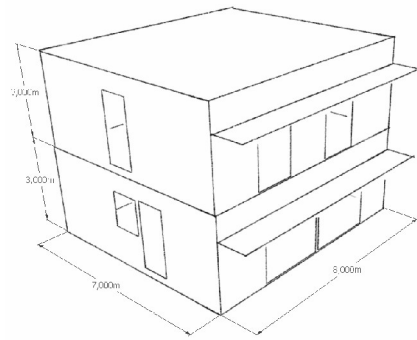


Figure 2 : géométrie retenue

**Discretisation :** Nous avons opté pour un modèle 2 zones, chacune représentant un étage. Les échanges aérauliques entre étages ne sont pas considérés.

**Surfaces énergétique :** Nous considèrerons pour chacun des outils une surface intérieure non corrigée égale à 97.5 [m<sup>2</sup>].

**Surfaces vitrées :** Les surfaces vitrées sont de type doubles vitrages basse émissivité avec lame d'argon.

**Scénario d'occupation :** Il correspond à une famille de 4 personnes ayant une activité extérieure chaque jour de la semaine : 2 personnes présentes de 17 heures à 18 heures et 4 personnes présentes de 18 heures à 8 heures. On suppose un dégagement de chaleur sensible de 80 [W/pers] soit 1690 [kWh/an]. Nous supposons que cette puissance dégagée est d'origine convective uniquement.

**Scénario de puissance dissipée :** Il est établi en supposant l'utilisation d'appareils économes en énergie et conduit à un dégagement annuel de 1600 [kWh], échangé sous forme convective uniquement. Les gains internes sont répartis uniformément entre les zones.

**Sollicitations :** Les données météo sont communes à tous les outils. La synchronisation des données météo, des calculs solaires (hauteur solaire et Azimut) ainsi que les scénarios de charges internes ont été contrôlés sous TrnSys et EnergyPlus. Les contrôles concernant Pléiade et CoDyBa sont limités aux sorties proposées.

#### 4.2. Description des variantes

Dans cette démarche d'homogénéisation des hypothèses nous avons remarqué que certains paramètres physiques ou hypothèses pris par défaut présentaient de grandes disparités. Afin de vérifier dans quelle mesure les différentes valeurs considérées par les outils pouvaient modifier l'estimation des performances du bâtiment (consommation de chauffage, puissance de chauffage maximum, nombre d'heures de surchauffe), nous avons effectué deux variantes. Dans la deuxième série de simulation, les coefficients d'échanges convectifs ont été modifiés : **Simulation 2**. Dans la troisième, les outils de simulation ont été utilisés avec leurs paramètres par défaut et/ou en respectant une démarche imposée (cas de PHPP) : **Simulation 3**.

Tableau 6 : Récapitulatif des variantes considérées

<p><b>Simulation 1 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Pleiade</li> <li>■ EnergyPlus</li> <li>▲ TrnSys</li> <li>● CoDyBa</li> <li>✕ PHPP</li> </ul>	<p>Cas de base détaillé</p>
<p><b>Simulation 2 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ EnergyPlus</li> <li>▲ TrnSys</li> <li>● CoDyBa</li> </ul>	<p>Modification des valeurs des échanges convectifs uniquement (Valeurs Pléiade -&gt; Valeurs moyennes calculées avec EnergyPlus)</p>
<p><b>Simulation 3 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ EnergyPlus</li> <li>△ TrnSys</li> <li>✕ PHPP</li> </ul>	<p>Utilisation des paramètres par défaut proposés par les outils (coefficients convectifs, émissivité, absorptivité solaire ...)</p>

Nous observerons par la suite les tendances données par chacun des outils suite à ces modifications.

#### 4.3. Evolution des températures et puissances durant 2 journées d'hiver (Simulation 1)

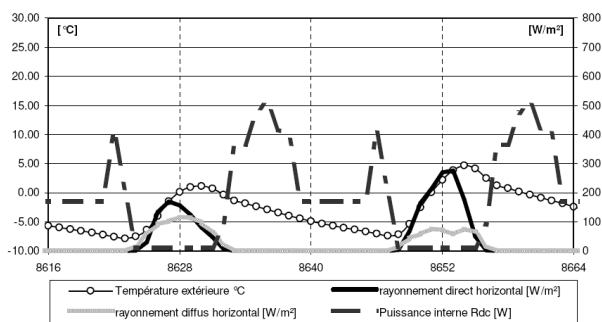


Figure 3 : Sollicitations météorologiques et charges internes au rez-de-chaussée

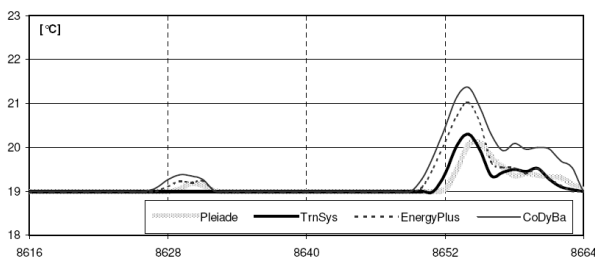


Figure 4 : Evolution de la température d'air au Rdc

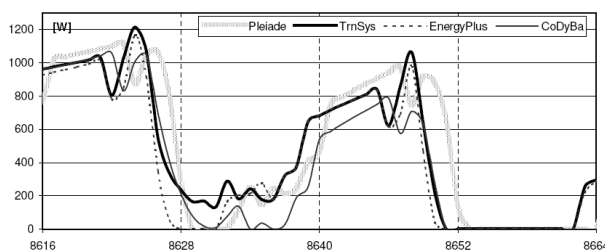


Figure 5 : Evolution de la puissance de chauffage

Les figures 3, 4 et 5 présentent les sollicitations météorologiques, les charges internes, la température d'air et la puissance de chauffage au rez-de-chaussée pour deux journées d'hiver. Durant les 12 premières heures (8616 à 8628) la température d'air correspond à la température de consigne de chauffage réglementaire soit 19°C. La puissance de chauffage correspondante est non nulle et oscille jusqu'à atteindre une puissance de 1200W. On observe par la suite une température interne qui dépasse 19°C, la puissance de chauffage est alors nulle. Durant cette période, les gains internes ainsi que les apports solaires compensent majoritairement les déperditions. C'est ce phénomène qui distinguera les bâtiments classiques des bâtiments basse consommation et de manière générale les outils de calcul n'ont pas été conçus à cet effet.

#### 4.4. Evolution des températures durant 2 journées d'été (Simulation 1)

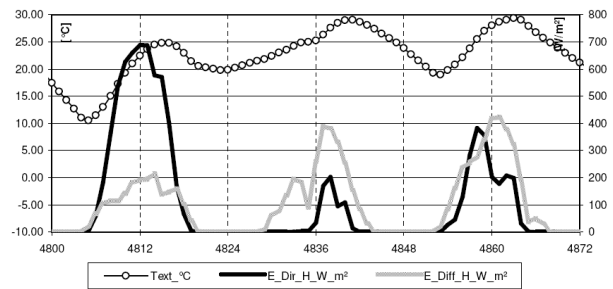


Figure 6 : Sollicitations météorologique et charges internes au rdc

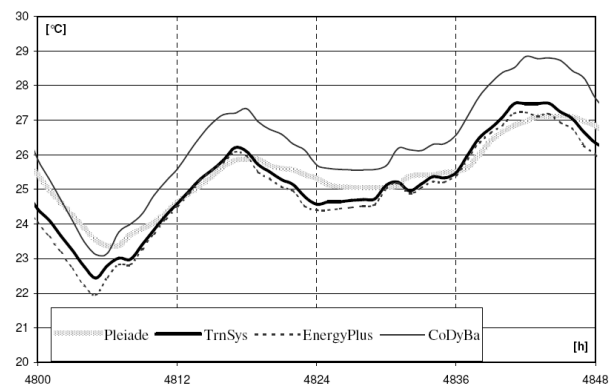


Figure 7 : Evolution de la température d'air au rdc

Pour une variante donnée (Simu1), les profils en termes de température et de puissance de chauffage sont semblables. Les réponses en température et puissance de chauffage sont particulièrement proches entre TrnSys, EnergyPlus et Pléiade. En les prenant comme référence, on remarque que le comportement du modèle réalisé avec CoDyBa diffère légèrement sur le plan de la valeur moyenne et du déphasage. Cette différence de résultats relativement homogène peut être liée à de nombreuses raisons, une étude plus détaillée serait nécessaire pour expliquer les écarts qui peuvent être liés

soit à la différence sur l'écriture des modèles ou l'entrée des données mais les résultats nous montrent surtout la prudence qu'il convient d'observer dans l'interprétation de résultats de simulation.

#### 4.5. Bilan annuel de besoins et indices de surchauffes

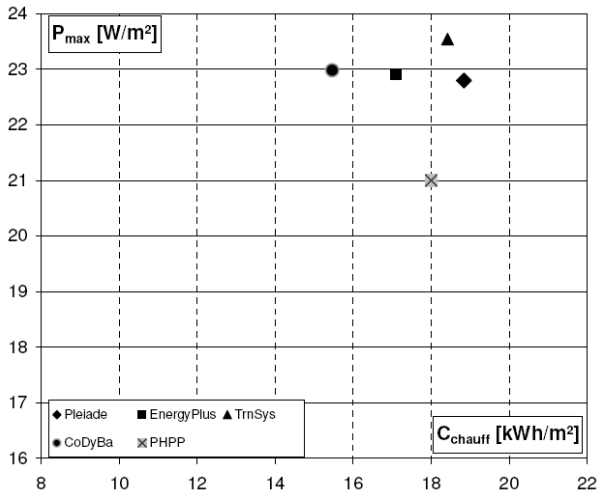


Figure 8 : Besoins de Chauffage simulation 1

La figure 8 présente les résultats obtenus pour le cas de la simulation 1. Les besoins de chauffage sont compris, dans une fourchette de 15 à 19 kWh/m<sup>2</sup>.an et la puissance de chauffage maximale entre 22.5 et 23.5 W/m<sup>2</sup> ce qui est tout à fait satisfaisant étant donné le niveau d'incertitude existant tant sur les paramètres physiques choisis que sur les imperfections des modèles. En cohérence avec les précédentes remarques CoDyBa montre des besoins de chauffage plus faible que les autres outils.

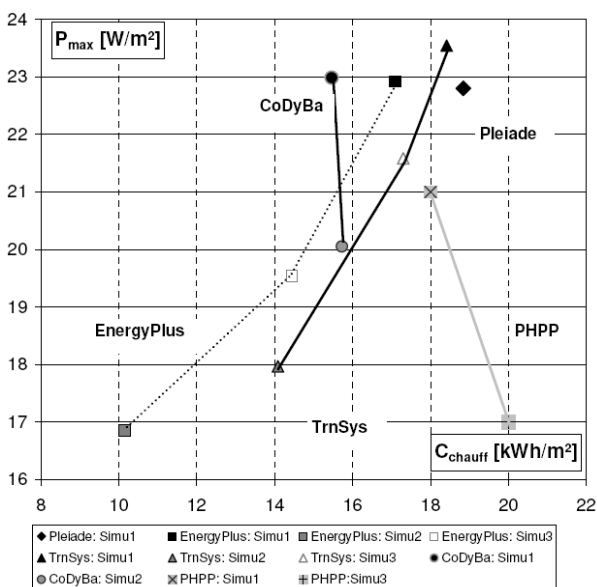


Figure 9: Besoins de Chauffage

Sur la figure 9, on observe les résultats des différentes variantes de simulation la première variante correspondant aux résultats présentés sur la figure 8. Dans le cas de la variante correspondant à la simulation 2, formes grisée, qui consiste à garder les coefficients de convection proposés par les différents outils on remarque que la sensibilité des logiciels à ce paramètre est variée. Elle se traduit pour CoDyBa par une légère augmentation des besoins de chauffage et pour EnergyPlus par une diminution de près de 60%. Les besoins de chauffage sont compris entre 10 à 15 kWh/m<sup>2</sup>.an pour EnergyPlus, Trnsys et CoDyBa. Les résultats restent relativement homogènes malgré les importantes variations.

Pour l'utilisation des outils de simulation avec les paramètres par défaut, les besoins de chauffage sont de 10 kWh/m<sup>2</sup>.an pour EnergyPlus, 17.3 kWh/m<sup>2</sup>.an pour Trnsys et 20 kWh/m<sup>2</sup>.an pour PHPP. En utilisant les paramètres par défaut, l'intervalle des résultats est donc bien plus étendu que lors de la simulation 1, les écarts de besoin variant du simple au double dans ce cas de bâtiments à très faible besoins ce qui pourra avoir des conséquences très importantes sur le dimensionnement des installations.

#### 4.6. Incidence des échanges convectifs

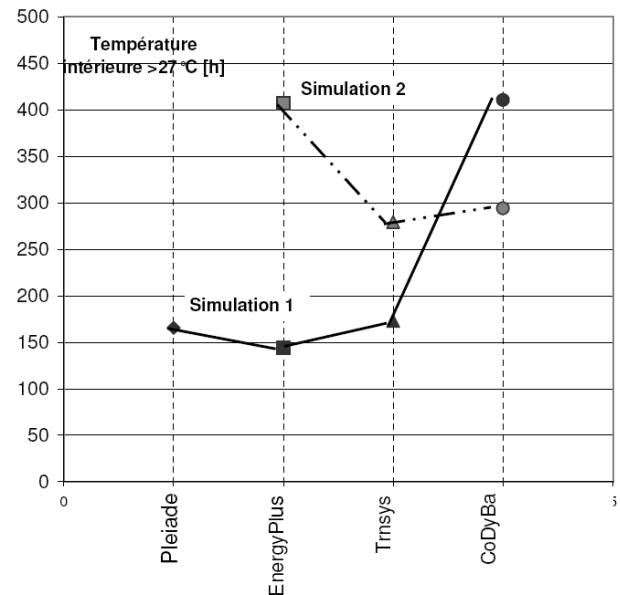


Figure 10 : Indices de surchauffe

La figure 10 montre que les valeurs des paramètres physiques considérés, en l'occurrence les coefficients d'échanges convectifs, sont sources de différences importantes. L'indice retenu est l'inconfort d'été en considérant le nombre d'heures de l'année où la température est supérieure à la température maximale tolérée égale à 27°C. Pour la première simulation, on constate comme dans le cas de CODYBA tandis que si on considère la seconde hypothèse les écarts correspondent plutôt au cas de EnergyPlus.

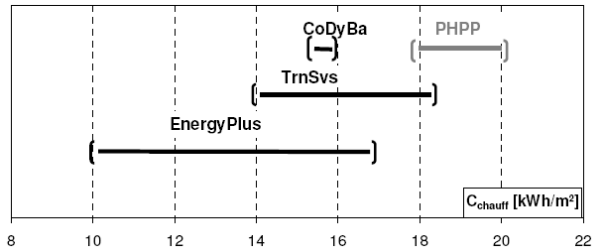


Figure 11 : Intervalle des besoins de chauffage pour une même configuration

La figure 11 met en valeur l'intervalle qui sépare les besoins de chauffage calculés selon les valeurs de coefficients convectifs utilisés par ces outils. Les bornes inférieures et supérieures correspondent respectivement aux "Simu2" et "Simu1". Dans le cas de PHPP, l'intervalle formé est borné par les Simulations 1 et 3.

La diversité des valeurs caractérisant les coefficients d'échanges convectifs utilisés par ces outils peut avoir, selon l'outil considéré une incidence importante sur un indicateur global tel que la consommation annuelle de chauffage ou le nombre d'heure de surchauffe. Pour EnergyPlus, l'outil le plus sensible, cette modification ce traduit par une variation de 60 [%] des besoins de chauffage.

La variation d'un paramètre physique, tel que la valeur des coefficients d'échanges utilisés, nous amène à relativiser la fiabilité des indicateurs en termes de valeur absolue.

## CONCLUSION

Le but de cet exercice était de comparer les résultats de simulation d'un bâtiment à haute efficacité énergétique, actuellement en construction, à l'aide du panel d'outils majoritairement utilisé en France.

Tout d'abord, la mise au point d'une définition qui devait être commune à tous les outils s'est traduite par une simplification de la description retenue. Cette contrainte nous a amenés à ne pas considérer de systèmes de gestion énergétique dynamique.

La limitation voire l'impossibilité de modéliser ces systèmes, avec certains des outils est un verrou important dans la démarche de prédiction du comportement des bâtiments de nouvelle génération. Effectivement, la sensibilité aux apports combinés et à l'utilisation de stratégies de rafraîchissement passif demande l'intégration d'un volet de régulation/contrôle. Cet aspect constitue un virage important qui nécessite une adaptation des outils de type "monolithique". Elle est nécessaire de sorte à offrir des réponses aux bureaux d'études et architectes intéressés par leur rapidité et simplicité d'utilisation. Ces corps de métier sont de plus en plus sollicités pour donner des réponses sur le comportement de tels bâtiments.

Le comportement a été évalué en hiver et en été en effectuant deux simulations durant lesquelles les débits de ventilation appliqués étaient différenciés

L'observation de deux extraits de simulation a montré une réelle concordance dans la dynamique d'évolution des températures d'air et des puissances de chauffage maximum (entre 22.5 et 23.5 [W/m<sup>2</sup>]) quels que soient les outils utilisés. Il en est de même pour les indices globaux retenus tels que la consommation de chauffage (entre 15 et 19 [kWh/m<sup>2</sup>.an]) ainsi que le nombre d'heures dépassant une température donnée de 27°C.

Par la suite, une variante a été testée : la modification d'un paramètre physique du modèle (coefficients d'échanges convectifs). Les valeurs assignées à ce paramètre sont extraites de celles imposées et/ou suggérées par certains des outils.

La modification des paramètres physiques s'est traduite par une variation par rapport au cas de base allant jusqu'à 60 [%] sur un indice annuel fréquemment utilisé. Cette constatation sur un cas relativement simple nous confirme la grande sensibilité des codes de calcul à la variation de paramètres physiques assez mal identifiés et des travaux concernant les incertitudes tant au niveau de la validité de ces paramètres qu'à celui de l'imperfection dans les modèles sont nécessaires. La métrologie qui sera mise en place sur les maisons de la plateforme INCAS devrait nous aider à conduire ces travaux concernant la prise en compte des incertitudes dans les codes de simulation.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ADEME, le CSTB et l'Association des Pays de Savoie qui ont financé ces travaux ainsi que L.CHAHWANE et P.TITTELEIN pour leur participation à cette analyse.

## RÉFÉRENCES

- TITTELEIN, P, Environnement de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiment basse consommation, Thèse de doctorat, Université de Savoie, (2008).
- ELLIS, P et TORCELLINI, P et CRAWLEY, D, Energy Design Plugin, An EnergyPlus Plugin for Sketchup
- NOEL, J, ROUX, JJ, VIRGONE, J, Présentation et perspectives du logiciel CoDyBa, Journée thématique SFT-IBPSA, (2005).
- FEIST, W, Logiciel de conception de maison passive 2007, (2007).
- FEIST, W et PFLUNGER, R et BUYER, R et al., Passive House projecting package 2004, (2004).
- EnergyPlus, Engineering Reference, (2008)
- DUFORESTEL, T et BOUIA, H et HARTMANN, O et KRAUSS, JJ, Les outils de modélisation énergétique des bâtiments très basse consommation, IBPSAFrance, (2008).
- JUDKOFF, R., et NEYMARK, J., International Energy Agency Building Energie Simulation Test (BESTEST) ans Diagnostic Method, NREL, (1995).
- PEUPORTIER, B and Isabelle BLANC SOMMEREUX, I, Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings, International Journal of Solar Energy, vol 8 pp 109-120, août 1990