
Simulation numérique de l'interaction de systèmes énergétiques du bâtiment à l'aide d'une plateforme de simulation basée sur le solveur SPARK

Pierre Tittlein*, Louis Stephan*, Laurent Mora, Etienne Wurtz***

* INES-RDI, LOCIE, Université de Savoie
50, av. du Lac Léman, Bâtiment Lynx – BP 332
F-73377 Le Bourget du Lac cedex
pierre.tittlein@univ-savoie.fr

** TREFLE, Université Bordeaux 1, UMR CNRS 8508
Esplanade des Arts et Métiers, F-33405 Talence Cedex

RÉSUMÉ. Pour décrire au mieux le comportement thermo-aéraulique dans les bâtiments, la simulation est nécessaire. L'objet de cet article est d'exploiter la plateforme SimSPARK pour évaluer les performances de différents concepts de bâtiments à haute efficacité énergétique. Cet article présente notamment l'intérêt de mettre en place un système de ventilation double flux pour réduire les besoins de chauffage et l'impact de protection solaires fixes au dessus des fenêtres pour assurer un meilleur confort d'été.

ABSTRACT. Building performance simulation reminds necessary to better understand the dynamic behaviour of buildings. This article aims at describing the use of the simulation platform SimSPARK to evaluate different concepts of high energy efficiency buildings. It mainly presents the interest of using heat recovery ventilation systems to reduce heating energy demand and fixed solar protections to improve summer comfort.

MOTS-CLÉS : bâtiment, simulation, SPARK, efficacité énergétique.

KEYWORDS: building, simulation, SPARK, energy efficiency.

1. Introduction

Dans un contexte de développement durable, il devient nécessaire de limiter notre consommation d'énergie. Les bâtiments étant actuellement très énergivores, on voit apparaître les notions de constructions à basse voire très basse consommation.

Dans un premier paragraphe, nous parlerons rapidement de ces notions. Puis nous verrons avec quelle démarche nous pouvons simuler ces bâtiments à l'aide de la plateforme de simulation SimSpark en prenant deux exemples d'application concrets permettant de montrer les possibilités de cet environnement.

2. L'efficacité énergétique des bâtiments

Dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments, on distingue deux niveaux de performance. On parle de construction basse énergie (ou basse consommation) pour des besoins de chauffage de 30 à 60 kW.h/(m².an). Pour parler de bâtiment très basse énergie (ou très basse consommation ou encore passif), il faut satisfaire un critère de besoin de chauffage de 10 à 15 kW.h/(m².an). Dans ce deuxième type d'habitation, il n'est plus nécessaire de mettre en place un système de chauffage conventionnel.

Le graphique ci-dessous aide à comprendre pourquoi ces deux catégories sont intéressantes.

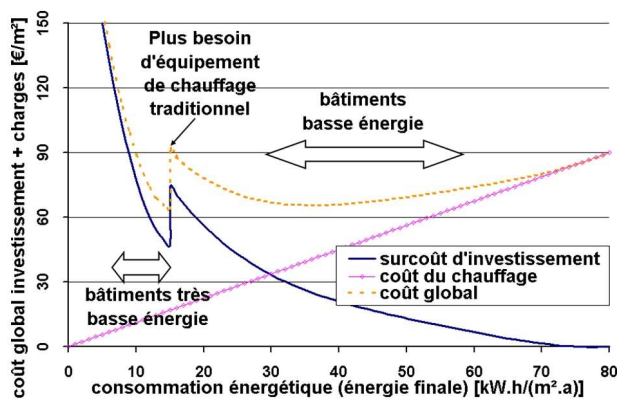


Figure 1 : Coût global de l'énergie dans un bâtiment, Passivhaus (2007)

On se rend donc compte grâce à ce graphique qu'il existe deux optima économiques : le premier pour une consommation de l'ordre de 40 kW.h/(m².an) et le second pour une consommation de l'ordre de 15 kW.h/(m².an). Ces deux optima correspondent aux bâtiments basse et très basse énergie.

Ces deux types de bâtiments sont, de façon logique, certifiées par deux types de labels distincts. On peut citer en Europe les labels Minergie® (Suisse) et maison trois litre (Allemagne) qui certifient la basse consommation. Quant aux labels concernant la très basse consommation, les plus reconnus sont Minergie-P® (Suisse) et Passivhaus (Allemagne).

Notons que la puissance maximale demandée pour une maison très basse consommation de 150m² est de 1500W, ce qui est la puissance d'un petit sèche-cheveux.

Selon une étude du CSTB (2006), l'Allemagne compte aujourd'hui environ 5000 maisons passives et 12000 maisons basse consommation. D'après Minergie® (2007), La Suisse quant à elle compte 6000 maisons basses consommation et une centaine de maisons très basse consommation. La France quant à elle n'en compte que quelques unes et ne possède pas encore de label opérationnel dans les niveaux de performance décrits ci-dessus.

Afin de décrire au mieux le comportement thermo-aéraulique dans les bâtiments à forte efficacité énergétique, la simulation est nécessaire.

3. Simulation numérique à l'aide de l'environnement SimSpark

Pour simuler le comportement de bâtiments et pouvoir exploiter au mieux les données expérimentales, nous avons choisi de fonder notre environnement de simulation SimSpark (Mora 2003) sur le solveur d'équations Spark, développé par le Lawrence Berkeley National Laboratory.

Spark est un environnement général de simulation dans lequel on peut définir et résoudre des systèmes d'équation par un solveur algébro-différentiel robuste d'après Sowel et al (2001). C'est un environnement orienté objet basé sur les équations.

3.1. Description des simulations dans Spark

L'objet de base dans Spark est l'équation qui est mise en forme dans ce que l'on appelle une « classe atomique ». Une équation peut communiquer avec d'autre par l'intermédiaire de ses variables que l'on appelle « ports ».

Pour programmer dans Spark, il suffit d'agencer ces équations les unes par rapport aux autres. Pour cela, on se sert d'un autre type d'objet, la macro-classe, dans lequel on appelle les équations que l'on fait communiquer entre elles par leurs variables. On crée ainsi des systèmes d'équations. Les objets « systèmes d'équations » peuvent eux aussi communiquer avec d'autres objets par l'intermédiaire de leurs variables. Ainsi, on obtient une hiérarchisation d'objet, du plus simple, qui représente une équation (par exemple, équation de convection dans un mur) au plus compliqué qui est un système complexe d'équations (par exemple la modélisation

thermique complète d'un bâtiment) en passant par des objets intermédiaires (comme des objets modélisant une paroi).

Une fois que l'on a connecté toutes les équations par l'intermédiaire de plusieurs niveaux d'objets, il suffit, dans un dernier type d'objet appelé « programme », de dire quelles sont les entrées et les sorties du système.

Cette façon de procéder permet de connecter très facilement des modèles de différents niveaux entre eux. On peut par exemple coupler par leurs variables un modèle de panneau solaire avec un modèle de plancher chauffant lui même connecté à un modèle de transferts thermo-aérauliques dans l'air d'un bâtiment couplé avec des modèles de parois. On a ainsi un modèle de bâtiment équipé d'un plancher solaire direct.

Comme tout environnement orienté objet, Spark possède la propriété d'encapsulation des données, c'est à dire que les caractéristiques d'un objet sont localisées en lui même. Ainsi, il est facile de changer de modèle dans une simulation.

Dans Spark, les équations sont définies de façon non orientée. Une variable du problème n'est donc pas, à la base, une entrée ou une sortie. Ainsi, Spark permet très facilement d'inverser un modèle. Il suffit de changer dans le fichier programme le statut d'une variable par un mot clé. Une variable qui était un résultat de la simulation devient alors une entrée.

3.2. Simulations réalisées

La maison sur laquelle se base cette étude est une maison construite sur deux étages pleins. Elle fait environ 50m² au sol. Elle possède au sud 13.5 m² de vitrage (soit 28% de la surface totale de la paroi), 6.5 m² à l'ouest (18%) et 3.5 m² à l'est (9%). La façade principale est orientée plein sud. Les conditions climatiques subies sont celles de Chambéry.

Pour pouvoir profiter d'une forte inertie, la paroi intérieure est en béton plein tandis que l'isolant est à l'extérieur (on considère un isolant classique de conductivité 0.04 W/(m.°C)).

Pour le calcul, on utilise une méthode nodale à un nœud par étage. Les transferts thermiques au sein des parois sont évalués par discrétisation de l'équation de la chaleur en différence finie.

Le rayonnement est pris en compte par la méthode des enceintes fictives. Pour connaître les apports solaires par les fenêtres, on réalise un calcul géométrique de l'empreinte de la tâche solaire sur chaque paroi de la pièce considérée. On considère ensuite que le flux se répartit sur toute la surface de la paroi touchée par le soleil. La valeur de flux ainsi obtenue est considérée comme un flux primaire direct dans la méthode des enceintes fictives.

Les deux études très simples traitées ci-dessous ont été réalisées dans le but de montrer que la plateforme de simulation fonctionne et permet facilement de donner des résultats de simulation dynamiques pour diverses configurations.

3.2.1 Comparaison sur deux types de ventilation

Nous avons ici cherché à comparer l'effet d'une ventilation simple flux à celui d'une ventilation double flux.

Notons tout d'abord que l'échangeur de la ventilation double flux est shunté en été car son fonctionnement serait la plupart du temps défavorable au confort intérieur. Ainsi, en été, les deux types de ventilation ont le même comportement. C'est pourquoi, on choisit ici comme élément de comparaison le besoin de chauffage ramené à l'unité [kW.h/(m².an)].

Pour les deux modèles, chaque étage possède une entrée d'air pour laquelle le débit est fixé et une sortie d'air. Le débit de renouvellement est, en temps normal de 0.5 vol/h. En été, la nuit, quand la température extérieure est inférieure à la température intérieure, on réalise une surventilation en passant le débit à 3 vol/h.

Pour la ventilation simple flux, le flux de chaleur entrant dans la pièce par la bouche de soufflage est calculé par l'équation :

$$\Phi_e = \dot{m} \cdot c_p \cdot T_{ext} \quad [1]$$

Avec : Φ_e le flux de chaleur entrant [W], $\dot{m}$ le débit massique d'air [kg/s], c_p la capacité calorifique de l'air [J/(kg.°C)] et T_{ext} la température d'air extérieur [°C].

La quantité de chaleur sortant au niveau de la bouche d'extraction est calculée par :

$$\Phi_s = \dot{m} \cdot c_p \cdot T_{int} \quad [2]$$

Avec : Φ_s le flux de chaleur sortant [W], T_{int} la température d'air intérieur [°C]

Pour la ventilation double flux, elle est prise en compte de façon très simple par l'évaluation de la température de soufflage à partir de son rendement :

$$T_{si} = T_{ext} + \eta \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad [3]$$

Avec : T_{si} la température de soufflage intérieur [°C] et η le rendement de l'échangeur.

On calcule ensuite le flux de chaleur sortant de la pièce par la même équation que pour le simple flux (2) et le flux entrant par l'équation :

$$\Phi_e = \dot{m} \cdot c_p \cdot T_{si} \quad [4]$$

Après plusieurs simulations annuelles avec un pas de temps de 30 minutes et en faisant varier l'épaisseur d'isolant dans les parois de la maison, on peut en déduire le résultat suivant :

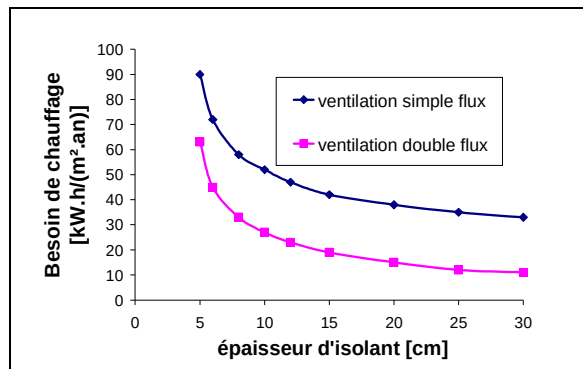


Figure 2 : Besoins de chauffage pour deux types de ventilation

On peut remarquer sur cette courbe que l'écart entre les besoins de chauffage pour la maison équipée d'une ventilation simple flux et celle équipée d'une ventilation double flux est à peu près constant quel que soit l'épaisseur d'isolant. On a une valeur de l'ordre de 25 kW.h/(m².an).

Ainsi, pour une maison avec 5 cm d'isolant, le gain apporté par la mise en place d'une ventilation double flux est de 30% alors que pour une maison avec 30 cm d'isolant (ordre de grandeur des maisons passives allemande) le gain est d'environ 70%.

On voit donc bien que quand on veut obtenir une forte efficacité énergétique, la ventilation double flux est tout à fait justifiée.

3.2.2 Traitement passif du confort d'été

Nous avons ici cherché à savoir l'effet des casquettes de fenêtre sur le confort d'été et leur impact sur les besoins de chauffage.

Le confort d'été sera évalué à partir du nombre d'heure dans la maison où la température dépasse 27°C.

Pour modéliser ces casquettes, on réalise un calcul géométrique permettant de déterminer quelle hauteur de fenêtre est éclairée (H_{fe}). Voici le schéma utilisé :

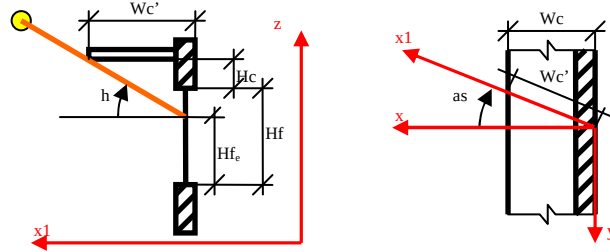


Figure 3 : Vue de la casquette dans le plan du rayon et de dessus

Avec : as l'angle orienté entre la normale à la fenêtre et la projection du rayon solaire sur le sol, h la hauteur du soleil, les autres grandeurs étant des caractéristiques géométriques du problème explicites sur les schémas.

On peut en déduire l'expression de Hf_e :

$$Hf_e = \min(Hf, Hf + Hc - Wc \cdot \frac{\tan(h)}{\cos(as)}) \quad [5]$$

A partir de cette valeur, on peut en déduire la surface par laquelle le flux solaire va entrer dans la pièce. On place des casquettes à 60 cm au dessus des fenêtres sud et on en fait varier la longueur. La figure 4 présente les résultats obtenus en terme d'évolution des besoins en chauffage et du nombre d'heures d'inconfort en fonction de la longueur de la protection solaire.

On constate d'après les résultats qu'on peut diviser par 2 le nombre d'heures supérieur à 27 degrés dans la maison grâce aux casquettes sud et sans augmenter de façon significative les besoins de chauffage.

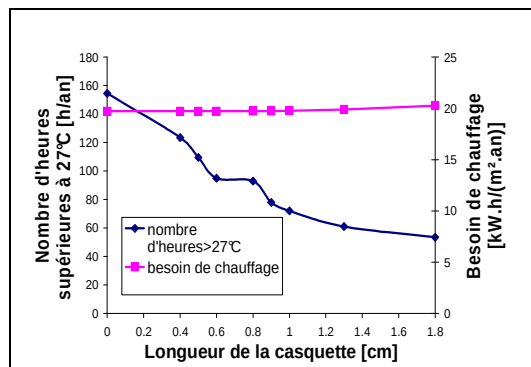


Figure 4 : Effet des casquettes sur les besoins de chauffage et le confort d'été

Ce type de système est donc tout à fait intéressant pour les bâtiments à forte efficacité énergétique. En effet, le problème des casquettes pour les maisons classiques réside dans le fait qu'en intersaison, elles provoquent un ombrage sur les fenêtres et augmentent donc les consommations. Ici, comme on ne chauffe pratiquement plus en intersaison, les casquettes n'ont quasiment plus d'effet négatif sur les besoins de chauffage.

4. Conclusion

Ainsi, nous avons vu qu'il était possible de simuler le comportement thermo-aéraulique des bâtiments à forte efficacité énergétique à l'aide de la plateforme de simulation SimSpark.

Grâce à sa modularité, cette plateforme permet de comparer facilement différents types de systèmes mais aussi différents types d'enveloppes.

Nous avons montré que la mise en place d'une ventilation double flux est indispensable pour obtenir une forte efficacité énergétique ; dans ce cas, elle divise par 3 le besoin de chauffage par rapport à une ventilation simple flux.

Nous avons également montré que la mise en place de casquettes au sud dans le cas d'un bâtiment à forte efficacité énergétique apporte une forte amélioration du confort d'été sans nuire au besoin de chauffage de la maison.

5. Bibliographie

CSTB. « Comparaison internationale bâtiment et énergie », rapport intermédiaire. Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Énergie dans le Bâtiment, 2006.

Minergie®. Site officiel de Minergie®. <http://www.minergie.ch/>, 2006.

Mora, L. « Prédiction des performances thermo-aérauliques des bâtiments par association de modèles de différents niveaux de finesse au sein d'un environnement orienté objet ». Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 2003.

Passivhaus. Site officiel de Passivhaus. <http://www.passiv.de/>, 2007.

Sowell, E.-F. et Haves P.. « Efficient solution strategies for building energy system simulation. » *Energy and Buildings* n°33(4), 2001, p. 309-317.