
Démarche de conception de bâtiments passifs à usage tertiaire.

Application à la construction bois en région Aquitaine.

A. Guiavarch¹, F. Clottes² et P.Lagière¹.

1. Laboratoire TREFLE, ENSAM, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence Cedex.

alain.guiavarch@bordeaux.ensam.fr ; philippe.lagiere@bordeaux.ensam.fr

2. ECOCAMPUS, ENSAM, Esplanades des Arts et Métiers, 33405 Talence Cedex.

f.clottes@ecocampus.u-bordeaux1.fr

RÉSUMÉ. Le développement des bâtiments passifs en région Aquitaine passe par une démarche de conception innovante. Le travail qui est présenté est une contribution à cette démarche et consiste à simuler le cas d'étude suivant : un bâtiment tertiaire à très haute performance énergétique, ayant un mode constructif bois et situé en région aquitaine. Une étude de sensibilité a permis d'affiner plusieurs paramètres architecturaux et de scénarios d'usage, pour ensuite aboutir à un modèle de bâtiment passif. Par exemple, pour le modèle de bâtiment tertiaire proposé, situé à Agen, et possédant 20 cm d'isolant en façade à ossature bois, on montre comment abaisser les besoins de chauffage à 8 kWh/m²/an et de rafraîchissement à 4 kWh/m²/an.

ABSTRACT. The development of passive buildings in the Aquitaine region is based on an innovative design approach. The work reported here is a contribution to this approach and consists in the simulation of the following case study : an office building with very low energy consumption, with a wood based construction and located in the Aquitaine region. A sensitivity study helped to precise many architecturals and time dependant but scheduled parameters, which lead to the definition of a passive building. The model, located in Agen, with 20 cm insulation in wood framed walls for instance, gives 8 kWh/m²/year for the heating load and 4 kWh/m²/year for the cooling load.

MOTS-CLÉS : bâtiment passif, construction bois, bâtiment tertiaire, simulation thermique dynamique

KEYWORD : passive building, wood construction, office building, thermal transient simulation.

1. Introduction

Le concept de bâtiment passif, qui a largement fait ses preuves dans certains pays d'Europe centrale, permet de réduire considérablement les impacts environnementaux générés pendant la phase d'occupation des bâtiments neufs ou réhabilités. L'objectif est de limiter la consommation d'énergie du bâtiment à un niveau très faible, ce qui, pour un bâtiment moyennement isolé pris comme référence, implique de faire passer les besoins de chauffage d'environ 150 kWh/m²/an à moins de 15 kWh/m²/an. Le mode de conception mis en œuvre pour aboutir à un tel niveau de performance énergétique permet d'éliminer l'emploi d'une installation classique de chauffage, ce qui constitue un véritable saut technologique. La construction bois en région Aquitaine peut répondre à un tel objectif de performance énergétique, mais le développement d'une telle filière nécessite de passer par une phase d'étude préliminaire à la fois scientifique et technico-économique.

Il s'agit de présenter dans cet article la contribution d'une étude par simulation à la démarche de conception de bâtiment passif. Ce travail a été effectué dans le cadre d'un projet soutenu par la Région Aquitaine et en partenariat avec des acteurs de la filière (bureau d'étude, architecte) (Clottes, 2006). La méthodologie adoptée a consisté à évaluer les performances énergétiques d'un bâtiment en faisant varier les principaux paramètres de conception architecturaux grâce à la simulation, ceci à partir d'un jeu de contraintes initial imposé par le contexte de l'étude : climat océanique du sud de la France, bâtiment à usage tertiaire, et mode constructif en bois.

2. Synthèse préliminaire et méthodologie employée

2.1 Synthèse sur les bâtiments passifs

L'état de connaissance de la conception de bâtiments passifs est en avance dans certains pays. En Allemagne, le Passivhaus Institut a permis d'élaborer un outil de labellisation (Feist et al., 2004) et une conférence internationale est organisée chaque année sur le sujet. Les autrichiens utilisent le même label, et développent d'autres démarches telles que l'Ecopass dans la région du Vorarlberg par exemple (Energieinstitut Vorarlberg, 2006). Les suisses ont également développé un label avec des exigences équivalentes au label allemand. Les belges ainsi que les luxembourgeois soutiennent la même démarche et ont mis en place une plateforme pour la promotion et l'aide aux projets de bâtiments passifs. Ces différents labels ou dispositifs ne sont pas standardisés, mais une collaboration existe à l'échelle européenne (Feist et al., 2001), et les différentes méthodologies s'accordent au moins sur les points suivants :

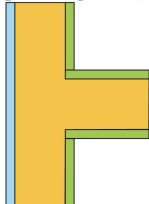
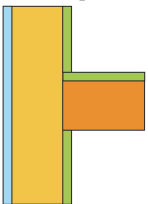
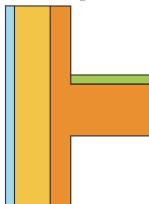
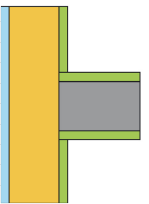
- les besoins annuels de chauffage doivent atteindre un niveau bien inférieur à ceux imposés par les réglementations en vigueur : le label allemand Passivhaus fixe comme limite 15 kWh/m² ;
- les équipements conventionnels de chauffage sont réduits ou éliminés. Seul un appoint est installé et dimensionné de telle sorte que celui-ci ne fonctionne que dans les cas défavorables ;
- les solutions techniques mises en œuvre pour constituer l'enveloppe du bâtiment doivent être étudiées et contrôlées avec une grande rigueur : très bon niveau d'isolation, réduction importante des ponts thermiques et faible perméabilité à l'air.

Les labels prennent également en compte les autres postes de consommation d'énergie (eau chaude sanitaire, ventilation, électricité spécifique) pour aboutir à des niveaux de consommation d'énergie primaire, mais ceci est très variable d'un pays à un autre. Au total, ce sont près de 6 000 réalisations qui ont été labellisées en Europe à partir de ces dispositifs. En France, le secteur du bâtiment aidé de la recherche rattrape son retard (Tittlein, 2006) et l'association Effinergie travaille sur la mise en place d'une labellisation équivalente à celles précédemment citées.

2.2 Construction passive et matériau bois

La construction bois a démontré ses capacités d'utilisation dans les bâtiments passifs. Il est par exemple possible, avec une enveloppe en ossature bois, de traiter les ponts thermiques et d'obtenir un coefficient de transfert thermique de l'ordre de 0.2 W/m²/K. La question de l'inertie thermique peut être résolue soit en utilisant un mode constructif mixte (enveloppe en ossature bois + planchers en béton par exemple), soit par l'emploi de bois massif. Le tableau 1 ci-dessous donne un exemple de typologie de construction bois et du niveau d'inertie que l'on peut lui associer.

Tableau 1. Typologie des modes constructifs et des niveaux d'inertie associés.

Structure	Ossature bois (poteau/poutre)	Lamellé cloué multiplis	Lamellé cloué multiplis	Maçonnerie béton armé
				
Enveloppe	Ossature bois	Ossature bois	Lamellé cloué multiplis	Ossature bois
Inertie	Faible	Moyenne	Forte (bois)	Forte (structure béton armé)

2.3 Analyse et adaptation climatique

Alors que la conception de bâtiments passifs a surtout été développée dans des pays aux climats de type « continental », l'étude concerne la région Aquitaine et son climat à caractère océanique, chaud et relativement humide. Les facteurs climatiques constituent un élément déterminant dans la conception d'un bâtiment passif (Feist, 2004), et la méthode de conception développée en Allemagne est en cours d'adaptation pour un climat méditerranéen (Schnieders, 2006). Une étude préliminaire permet de caractériser le climat aquitain et de quantifier l'écart avec celui de Stuttgart, localité du sud de l'Allemagne. En hiver, on peut constater que les degrés.jours annuels sur la base 19 sont relativement homogènes et ont pour moyenne 2409 °C.j, alors que pour Stuttgart nous avons 3411 °C.j. En été, les degrés.jours sur la base 26 ainsi que l'irradiation solaire sur le plan horizontal sont par contre plus élevés. Une telle comparaison justifie à priori la nécessité d'utiliser la simulation afin de tester l'architecture du bâtiment.

2.4 Méthodologie

Le jeu de contraintes qui détermine le cadre de l'étude se compose des 4 éléments suivants : bâtiment à usage tertiaire, très haute performance énergétique, climat atlantique chaud et humide et construction bois.

Grâce à la simulation thermique dynamique, il est possible de relier ces différents éléments, et de connaître avec une relative bonne précision l'évolution de la performance énergétique en fonction des autres paramètres.

Ce travail étant effectué dans un souci de transfert de connaissances et d'appui scientifique pour le développement de la filière « Bois Construction », il faut s'assurer de la représentativité du modèle de bâtiment sélectionné. Le choix s'est porté sur la simulation d'un bâtiment construit récemment et dont les caractéristiques architecturales sont connues avec précision. A partir de ce bâtiment initialement conçu, une étude de sensibilité permettra de proposer des améliorations afin d'atteindre l'objectif de performance énergétique, performance qui sera évaluée en fonction des besoins annuels de chauffage et de refroidissement. Mais les simulations et leur analyse vont montrer les limites qu'aurait cette approche si elle n'était pas complétée par l'évaluation du niveau de confort dans le bâtiment.

3. Etude de cas

3.1 Description du modèle de bâtiment

Le bâtiment, de type R+1 et construit en 2003, est situé en région Aquitaine et abrite près de 847 m² de bureaux avec des halls de réception du public. Il est exposé tel qu'indiqué sur la figure 1, et cette valeur d'orientation a été volontairement

gardée pour les simulations. Une première analyse de l'architecture de ce bâtiment laisse supposer une conception d'une certaine qualité :

- le mode constructif est mixte : parois à ossature bois, plancher et poutres en béton assurant un bon niveau d'inertie ; le plancher sur vide sanitaire et le plancher intermédiaire sont constitués chacun de 20 cm de béton et 8 cm de chape flottante séparés par un isolant ;
- les épaisseurs d'isolant utilisées dans les différentes parois permettent d'obtenir des coefficients de transfert thermique satisfaisants : 12 cm sur les façades ($U = 0.41 \text{ W/m}^2/\text{K}$)¹, 8 cm sur le plancher bas ($U = 0.42 \text{ W/m}^2/\text{K}$) et 15 cm en toiture ($U = 0.24 \text{ W/m}^2/\text{K}$) ;
- les menuiseries sont constituées de double vitrage de qualité moyenne ($U = 2.83 \text{ W/m}^2/\text{K}$). Outre le fait que c'est le même type de vitrage qui est utilisé sur toutes les façades, on peut remarquer que le taux de vitrage de chacune des façades n'a pas été conçu en fonction de l'orientation, mais plutôt en fonction des contraintes d'usage du bâtiment (53 % au sud, 64 % à l'est, 55 % à l'ouest et 17 % au nord). On peut cependant remarquer la présence de brise-soleil (cf figure 1) ;

Le modèle d'enveloppe a été défini de manière la plus fidèle possible sans pour autant le rendre trop difficile d'utilisation (cf figure 1). Le zonage thermique a été effectué en fonction de l'exposition des façades et de l'usage des différentes pièces, lui-même déterminé par les scénarios d'occupation des bureaux. Dans les bureaux, la consigne de température est égale à 21°C de 7 heures à 18 heures en semaine et 15°C le reste du temps en période hivernale, et égale à 25°C de 7 heures à 18 heures en semaine en période estivale. Le taux de renouvellement d'air est fixé à 1 volume/heure pendant l'occupation et à 0.1 volume/heure pendant le reste du temps.

Le bâtiment ainsi défini présente, pour la météo d'Agen sur une année, des besoins de chauffage de 39 kWh/m²/an et de rafraîchissement de 13 kWh/m²/an, ce qui permet de confirmer que ce bâtiment à ossature bois est déjà relativement performant, surtout en thermique d'hiver mais peut être amélioré en thermique d'été. Ce modèle sera pris comme référence pour la suite de l'étude.

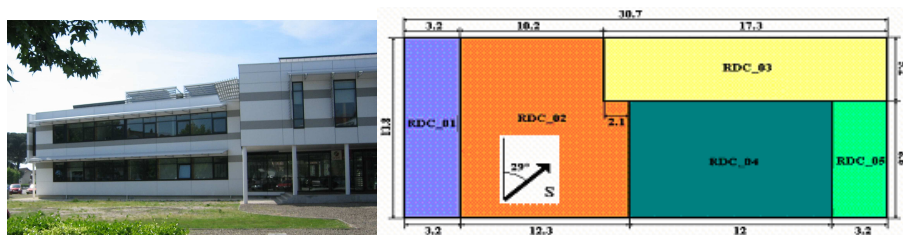


Figure 1. Cas d'étude (vue sur la façade exposée sud/sud-est) et modèle d'enveloppe du 1^{er} étage du bâtiment simulé (vue de dessus)

¹ Les ponts thermiques engendrés par la présence de l'ossature en bois sont intégrés

3.2 Etude de sensibilité – Exemple

La variation des besoins énergétiques du bâtiment (chauffage + refroidissement) en fonction de l'épaisseur d'isolant en façade est donnée sur la figure 2. Les résultats montrent qu'une épaisseur supérieure à 20 cm n'apporte plus d'amélioration significative. Les simulations sur l'épaisseur d'isolant en toiture donneraient des courbes similaires. Ce type de résultat est à mettre en relation avec les règles établies dans les labels étrangers qui préconisent généralement des épaisseurs d'isolant bien supérieures à 20 cm. Toujours d'après la figure 2, l'augmentation de l'épaisseur d'isolant en façade permet de faire diminuer significativement les besoins de chauffage, alors que les besoins de rafraîchissement restent relativement constants, et peuvent même très légèrement augmenter (à partir d'environ 15 cm). Cela montre que la problématique de la thermique d'été ne peut pas être uniquement traitée par le niveau d'isolation des façades du bâtiment. Si pendant une journée chaude et ensoleillée les apports internes sont tels que la température à l'intérieur du bâtiment tend à devenir supérieure à la température extérieure, alors dans ce cas une sur-isolation peut jouer un rôle défavorable sur les transferts thermiques.

Ce type de résultat est renforcé par l'étude sur l'épaisseur d'isolant du plancher bas. Selon la figure 2, les besoins de rafraîchissement augmentent avec l'épaisseur d'isolant. En période estivale, la température du sol est inférieure à la température du bâtiment et peut contribuer à rafraîchir le bâtiment si l'épaisseur d'isolant n'est pas trop importante. Mais comme le choix de l'épaisseur doit se faire en fonction du bilan global du bâtiment sur l'année, d'après ce cas de figure, l'optimum se situe aux alentours de 8 cm.

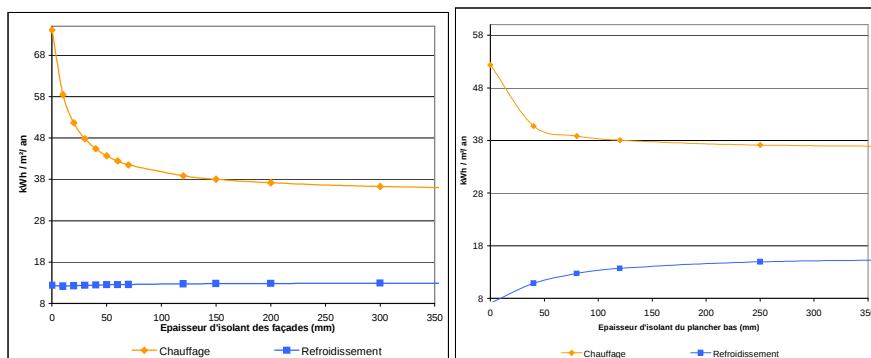


Figure 2 : variation des besoins de chauffage et de refroidissement en fonction de l'épaisseur d'isolant en toiture (a) ou dans le plancher bas (b).

3.3 Proposition d'un modèle de bâtiment passif

L'étude de sensibilité, qui a porté sur de nombreux paramètres, a permis d'aboutir à la proposition d'un modèle de bâtiment passif qui possède certains éléments que l'on retrouve dans les règles développées dans les pays d'Europe

centrale, comme par exemple l'utilisation d'une ventilation double flux modulable avec récupération de chaleur à haut rendement (90 %). Mais certaines caractéristiques se démarquent de ces dernières : 200 mm d'épaisseur d'isolant en façade et en toiture et emploi de double vitrage peu émissif ($U = 1.43 \text{ W/m}^2/\text{K}$ pour le vitrage). De part le type d'usage du bâtiment et la présence de grandes surfaces vitrées, une attention particulière est portée à la thermique d'été : présence de brise-soleils horizontaux sur la façades sud, et surventilation nocturne en période estivale pour profiter de l'inertie thermique du bâtiment. Les températures de consigne peuvent également être réduites sans pour autant remettre en cause le confort des occupants : en période hivernale, 19°C avec un réduit de 15°C (au lieu 21° avec un réduit de 16°C dans le modèle de référence) et, en période estivale, 26°C (au lieu de 25°C dans le modèle de référence).

Avec une combinaison optimisée, le modèle de bâtiment à ossature bois permet d'obtenir des besoins annuels de chauffage égaux à 8 kWh/m^2 et de rafraîchissement égaux à 4 kWh/m^2 . Ce qui permet de satisfaire le critère de performance énergétique des bâtiments passifs (en terme de besoins de chauffage et de rafraîchissement seulement puisque le choix des systèmes énergétiques n'est pas effectué dans cette étude). Les bâtiments passifs doivent répondre à une telle exigence de niveau de consommation d'énergie et l'étude présentée permet de comparer différentes variantes et fixer certaines limites sur l'enveloppe du bâtiment. Mais l'autre caractéristique importante de la conception des bâtiments passifs consiste à éliminer l'utilisation d'un système de chauffage ou de rafraîchissement conventionnel, et il faut par conséquent limiter la puissance thermique disponible.

3.4. Limitation de la puissance de chauffe et de refroidissement

La figure 3 représente, pour le modèle proposé dans le paragraphe précédent, l'histogramme des puissances de chauffage ou de refroidissement appelées. La puissance maximale de chauffage est de 42 W/m^2 et celle de refroidissement de 12 W/m^2 . Mais l'analyse de cette figure permet de sélectionner une puissance inférieure sans pour autant remettre en cause le niveau de confort dans le bâtiment : en effet, la puissance de chauffage appelée est pendant 90 % du temps inférieure à 10 kW, et la puissance de refroidissement est inférieure pendant 95 % du temps à 10 kW.

Grâce à l'analyse précédente, si on se fixe comme puissance installée 10 kW (soit 12 W/m^2 , répartie de manière uniforme sur toute la surface du bâtiment), nous pouvons en déduire le taux d'inconfort thermique, défini comme étant le nombre d'heures pendant lesquelles la température obéit aux conditions de confort selon le mode adaptatif (Brager, 1998). D'après les simulations, le taux d'inconfort calculé est de seulement de 6 %, ce qui confirme la validité des choix de conception du bâtiment passif.

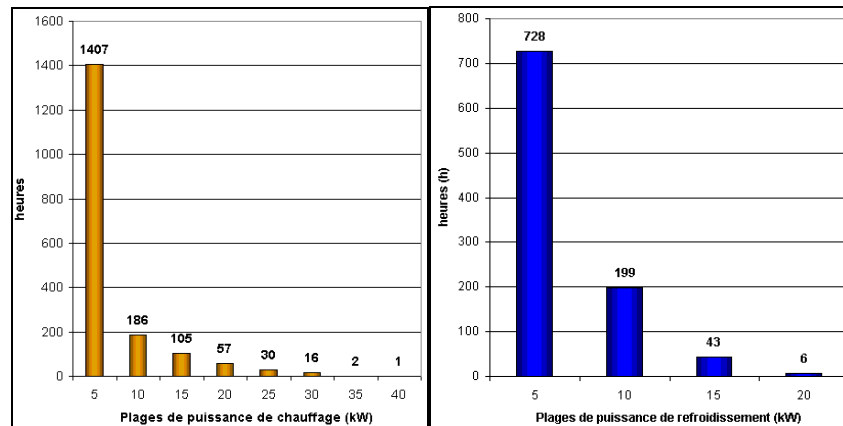


Figure 3 : *histogramme des plages de puissance de chauffage et de refroidissement appelée.*

5. Conclusion

Dans l'objectif de l'amélioration des connaissances concernant la conception de bâtiments passifs, cette étude a montré pourquoi l'utilisation du seul critère de niveau de besoin de chauffage s'avère trop limité ; il devient donc, dans le cas d'un climat relativement chaud et océanique, indispensable d'étudier le comportement thermique en période estivale. Il est à ce titre possible d'étudier le rôle que peut jouer le bois dans l'inertie du bâtiment et de coupler son utilisation avec l'emploi d'une surventilation nocturne pour limiter les surchauffes en été. La simulation a aussi permis de pousser l'analyse grâce à l'estimation du taux de confort thermique en limitant la puissance délivrée par les équipements de chauffage et de climatisation.

Cette étude a par ailleurs permis de montrer que la simulation thermique détaillée d'un bâtiment constituait une phase indispensable avant la mise en œuvre concrète de bâtiments à caractère innovant, afin notamment de proposer des éléments pour les choix de conception ; la seule application des calculs réglementaires (RT2005) ne constituant pas une approche suffisante pour des choix optimisés et des déterminations fines. Ces simulations et ce type de démarche font émerger la nécessité d'élaborer ou de contribuer à un outil d'aide à la conception ou de labellisation de bâtiments passifs.

Références

Brager Gail S., de Dear Richard J., "Thermal adaptation in the built environment : a literature review", *Energy & Buildings*; 27 (1), 1998.

Clottes F., Rapport de simulation Phase 3, Projet « Bâtiment Bois Passif en région Aquitaine » (Conseil Régional Aquitaine / Bureau d'ingénierie OTCE / Laboratoire TREFLE-ECOCAMPUS / Laboratoire GRECAU ENSAPBX), 2006.

Energieinstitut Vorarlberg, <http://www.energieinstitut.at/>, 2006.

Feist W., First Steps : what can be a passive house in your region with your climate ?, Passiv Haus Institut, 2004.

Feist W. et al., Passive House Planning Package, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2004.

Feist W. et al., Final technical report, CEPHEUS (Thermie Program of UE), 2001.

Schnieders J., Review of existing low energy en passive best practice, Passive-On (SAVE Program of UE), 2006.

Tittlein P., Wurtz E. et Achard G., « Bâtiments à forte efficacité énergétique : état de l'art et réalisations envisagées au sein de l'Institut National de l'Energie Solaire », *IBPSA, Ile de la Réunion*, 2006.