

Effet de l'inertie thermique, de la surface vitrée et du coefficient de forme sur les besoins en chauffage d'une habitation

Tiberiu Catalina¹, Joseph Virgone^{2,3}, Jean-Jacques Roux¹, Eric Blanco⁴

¹ CETHIL – Centre de Thermique de Lyon, INSA Lyon, 20 Avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne Cedex
tiberiu.catalina@insa-lyon.fr | jean-jacques.roux@insa-lyon.fr

² DGCB – ENTPE, 3 rue Maurice Audin - 69518 VAULX en VELIN Cedex ³ Université Lyon 1
joseph.virgone@entpe.fr

⁴ AMPERE – Ecole Centrale de Lyon, Bâtiment H9, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex
eric.blanco@ec-lyon.fr

RESUME. Ce document expose les économies d'énergie qui pourraient être obtenues par la bonne conception du bâtiment en termes de morphologie, inertie thermique et surface vitrée. En s'appuyant sur une vaste base des données obtenues par des simulations en dynamique, cette étude donne des directions pour les architectes ou ingénieurs dans les tous premiers stades de leur projet. On montre qu'il existe une forte relation entre la forme du bâtiment et la demande en énergie du bâtiment, une économie d'énergie pourra être possible avec des réductions importantes par rapport au cas de référence. Un autre aspect de cette étude est d'illustrer l'interaction entre les paramètres, et quel est leur impact sur les besoins en chauffage pour les maisons individuelles. Il a été observé que la surface vitrée et la constante de temps du bâtiment sont couplées et qu'elles doivent être analysées ensemble et en détail dans le but de réduire au maximum la consommation d'énergie. L'effet le plus notable de l'inertie sur le bâtiment est surtout connu en mi-saison et en été. Un effet sur la consommation d'énergie de chauffage existe : nous avons observé une réduction de l'énergie de 10 à 15% en fonction de la surface vitrée et de la constante de temps choisie.

MOTS-CLÉS : constante de temps, coefficient de forme, surface vitrée, consommation d'énergie

ABSTRACT. This document outlines the energy savings that could be achieved through good building design in terms of morphology, thermal inertia and glazing surface. Based on an extended database obtained by dynamic simulations, this study provides directions for architects or engineers in the first stage of their project. It is shown that there is a strong relationship between the shape of the building and the energy demand, major energy reduction may be possible with values that could reach 40% compared to the reference case. Another aspect of this study is to illustrate the interaction between the parameters and what is their impact on heating demand for single-residential houses. It was observed that the glazing surface and the building time constant are linked and must be analyzed as a whole and in detail in order to minimize energy consumption. The most notable consequence of thermal inertia on the building is best known in mid-season and summer: it was also observed an heating energy reduction, from 10 to 15%, depending on glazing surface and building time constant.

KEYWORDS : building shape factor, building time constant, heating demand

1. INTRODUCTION

En France, l'industrie du bâtiment contribue à 25% des émissions de gaz à effet de serre et à 43% de la consommation totale d'énergie, ce qui le rend le plus grand consommateur d'énergie dans tous les secteurs de l'économie (Ademe). L'énergie dépensée pour chauffer les maisons dans le secteur résidentiel représente plus de 40% de la demande totale en énergie, les 60% restant correspondant à l'électricité, l'eau chaude sanitaire et la climatisation. Dans le domaine du chauffage une grande réduction d'énergie peut être obtenue si le bâtiment est bien conçu par les ingénieurs et les architectes.

Le chauffage et la climatisation qui consomment de grandes quantités d'énergie, sont devenus une nécessité pour presque tous les bâtiments (ASHRAE, 1992) avec le but final de fournir un environnement intérieur confortable. Connaître l'influence de certains paramètres de conception sur la consommation d'énergie devient donc une nécessité et il est obligatoire aussi de savoir quels sont les effets de leurs interactions sur le bâtiment.

2. DEMARCHE

2.1. MORPHOLOGIE DU BATIMENT

La morphologie du bâtiment est un facteur important qui influence la demande en énergie pour chauffer ou refroidir l'espace occupé. La forme d'un bâtiment a également un impact important sur les coûts de construction. (Depecker et al., 2001) ont étudié la relation entre la forme du bâtiment et la consommation d'énergie et (Ourghi et al., 2007) ont mis au point une méthode d'analyse simplifiée pour prédire l'impact de la morphologie d'un immeuble de bureaux sur l'énergie nécessaire pour le refroidissement. Ils ont conclu que l'optimisation de la forme d'un bâtiment est un élément essentiel si on veut réduire les coûts de construction et réduire la consommation d'énergie.

L'optimisation de la forme et la structure fonctionnelle en vue de faire des économies d'énergie a constitué le travail de (Jedrzejuk & Marques, 2007). Une bonne solution pour analyser l'effet de la géométrie de la construction sur la consommation d'énergie est d'utiliser un indicateur, appelé coefficient de forme (C_f) qui est défini comme le rapport entre le volume chauffé du bâtiment et la somme de toutes les surfaces qui sont en contact avec l'extérieur, le sol ou avec des espaces non chauffés.

Un bâtiment est plus économe en énergie quand le coefficient de forme prend des valeurs plus élevées (chauffer le même volume mais avec moins de surfaces déperditives). Plus la surface de déperditions est grande, plus les pertes de chaleur augmentent et donc le coefficient de forme prend des ratios plus petits qui impliquent des consommations d'énergie plus élevées. Une forme compacte est souhaitable pour réduire le coût et la consommation d'énergie du bâtiment, mais un bâtiment hypercompact n'est pas souhaitable du point de vue architectural et éclairage naturelle, donc un compromis doit être trouvé lors de la conception du projet.

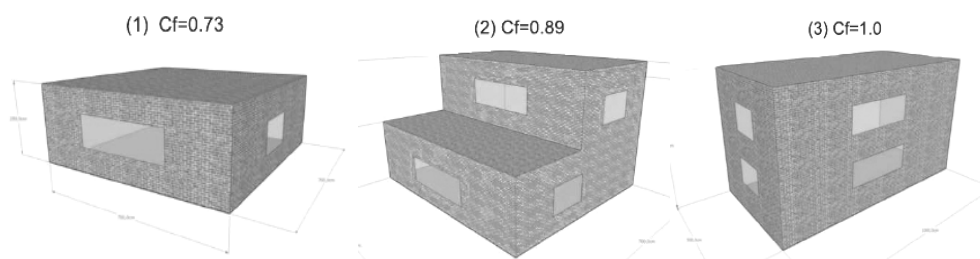


Figure 1 : Coefficient de forme C_f pour différentes morphologies de bâtiments

Cet indicateur pourrait être critiqué par le fait qu'il ne prend pas en compte la répartition et la surface de vitrage et d'autre part que l'orientation du bâtiment est négligée. Le problème lié à l'orientation du bâtiment ne se pose pas nécessairement pour les parois extérieures opaques mais surtout pour la surface vitrée et sa distribution sur l'enveloppe du bâtiment.

Compte tenu de ces considérations critiques, la présente étude examine différents scénarios où la surface vitrée et la distribution sur les différentes façades du bâtiment sont modifiées et analysées. Dans la figure 1 sont présentées différentes formes de constructions avec leurs coefficients de forme qui ont été utilisés pour cette étude. Pour le secteur résidentiel les coefficients de forme se situent généralement entre 0.7 et 1.25.

2.2. SURFACE VITREE

Le vitrage est un élément important de construction pour les architectes et les ingénieurs compte tenu de ses effets sur l'éclairage naturel et son potentiel sur la réduction de la demande d'énergie pour le chauffage en hiver. (Persson et al., 2006) ont montré que l'utilisation de fenêtres performantes du point de vue thermique serait meilleur que d'avoir des mur isolés mais sans fenêtre.

L'explication se retrouve par le fait que la fenêtre peut capter et utiliser l'énergie solaire pour chauffer les maisons pendant les périodes où le soleil brille et la température extérieure est inférieure à la température intérieure. Les dimensions des fenêtres les plus appropriées dépendent de l'orientation du bâtiment et de sa masse thermique. La (Réglementation thermique française, 2005) propose une valeur de référence de 16,5% (pourcentage de la surface vitrée par rapport à la surface habitable), mais cette valeur peut aller jusqu'à 22%, des valeurs plus élevées augmenteraient les risques de surchauffe pendant la période estivale.

Distribution	Pourcentage de la surface vitrée (%)			
	NORD	SUD	EST	OUEST
Uniforme	25	25	25	25
Sud (1)	20	40	20	20
Sud (2)	20	60	10	10

Table 1: Distribution de la surface vitrée sur l'enveloppe d'un bâtiment

Les maisons solaires passives utilisant des stratégies de masse thermique et d'orientation Sud doivent être évaluées sur une base individuelle. Pour cette étude, plusieurs cas de distribution ont été analysés (voir Tableau 1) et pour différents cas de ratios surface vitrée/surface habitable (RVS) de 12% à 22%.

2.3. INERTIE THERMIQUE

L'intégration de l'inertie thermique lors de la conception d'un bâtiment est une question délicate, les concepteurs étant obligés dans la plupart des cas, d'utiliser des simulations dynamiques afin de mieux voir l'impact de l'inertie sur la consommation énergétique des bâtiments. L'effet le plus remarquable de l'inertie sur le bâtiment est observé en particulier en mi-saison et en été où la demande en énergie de refroidissement est réduite lorsqu'on utilise un bâtiment „lourd thermiquement,, par rapport à un bâtiment plus „léger,,. Les avantages d'un bâtiment avec une masse thermique plus grande ne sont pas seulement liés aux économies d'énergie mais également à l'amélioration du confort thermique car le déphasage de température jour-nuit est réduit. Dans cette étude, pour exprimer l'inertie thermique des bâtiments analysés, on a utilisé la constante de temps (τ). La constante de temps caractérise l'inertie thermique intérieure de l'espace chauffé. Pour le calcul de la constante de temps et de l'énergie stockée dans les parois cette étude s'appuie sur les recherches faites par (Roux, 1984).

Plus la constante de temps du bâtiment est grande, plus les gains d'énergie solaire qui peuvent être utilisés en hiver sont grands et plus le bâtiment répond lentement à des changements soudains de la température extérieure (Szalay Z., 2004). (Norén en coll., 1999) ont simulé avec trois logiciels de simulation, l'inertie thermique d'un bâtiment de référence. Leurs résultats ont montré qu'une réduction de 16-18% de l'énergie de chauffage pourrait être obtenue grâce à une forte inertie ($\tau = 325$ h) par rapport à un bâtiment plus léger en inertie ($\tau = 31$ h). Pour le présent article des simulations ont été réalisées pour différentes constantes de temps de construction, de $\tau = 10$ h jusqu'à $\tau = 200$ h.

2.4. SIMULATIONS NUMERIQUES

Les résultats de cette étude sont basés sur des simulations en dynamique avec un pas de temps horaire, réalisées avec l'outil de simulation TRNSYS (Klein et al., 2000). L'atelier de simulation TRNSYS est un environnement de simulation complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes, y compris les bâtiments multi-zones. TRNSYS est basé sur une modularité qui lui permet de résoudre des systèmes d'équations compliqués décrits par les sous-routines Fortran. Pour notre problème, nous avons modélisé les cas étudiés en utilisant la bibliothèque standard de composants qui existe dans la base de données du logiciel. Pour l'analyse des résultats nous avons utilisé le climat de Lyon (voir Tableau 2 ou les températures extérieures et le rayonnement solaire global sont présentés pour les différents mois de chauffe de l'année).

Mois	Température extérieure [°C]	Rayonnement solaire global [kWh/m ²]
Janvier	8.67	31.6
Février	9.35	49.79
Mars	10.9	95.52
Avril	13.1	127.44
Octobre	17.1	66.75
Novembre	12.3	37.05
Decembre	9.64	25.98

Tableau 2 : Valeurs météorologiques mensuelles pour le climat de Lyon

3. RESULTATS

Les résultats ont été obtenus pour les différents paramètres, un nombre important de simulations étant réalisé. Les premières simulations ont eu pour but d'illustrer l'impact de la morphologie d'un bâtiment sur sa demande d'énergie pour le chauffage exprimée en (kWh/an) pour un bâtiment isolé sur la base des recommandations de normes françaises (CSTB, 2005) ($U_{\text{bat}}=0,75$ W/m²K et le taux de renouvellement d'air =0,7 vol/h).

Les hypothèses considérées pour cette partie de l'étude sont les suivantes : la surface habitable est de 100m² et la constante de temps est de 17h ce qui correspond à un bâtiment léger. Il peut être observé dans la Figure 2 qu'une réduction de 40% sur les besoins en chauffage peut être obtenue pour des bâtiments avec des C_f plus grands par rapport à des bâtiments avec des C_f plus petits. Les résultats confirment le fait que la morphologie d'un bâtiment est un paramètre important de conception pour les architectes, des réductions importantes d'énergie pourront ainsi être possibles. De plus, l'augmentation

de la surface vitrée a un rôle bénéfique dans la réduction de la consommation d'énergie due à l'augmentation de l'énergie solaire captée pendant la saison hivernale.

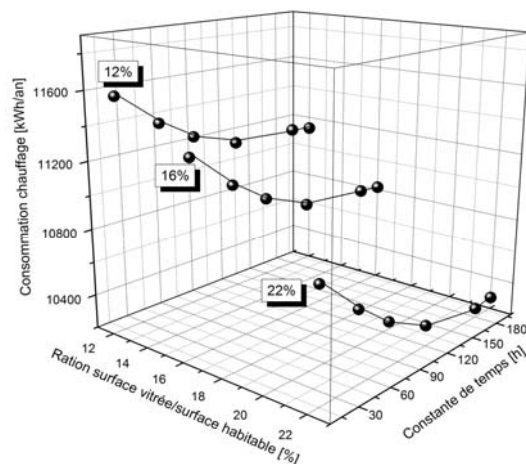


Figure 2. Impact de la morphologie et de la surface vitrée d'un bâtiment sur la consommation d'énergie pour le chauffage

La figure 3 montre que l'inertie thermique qui est exprimée par la constante de temps a un impact sur la réduction de consommation d'énergie. Les résultats obtenus correspondent à un ratio surface vitrée/surface habitable de 12%, 16% et 22% avec la distribution des vitrages Sud (1) et avec un coefficient de forme égal à 1. L'augmentation de l'inertie thermique d'une construction peut être une solution intéressante pour réduire la consommation d'énergie (voir la Figure 3). De plus, en associant une inertie forte avec une surface vitrée plus grande, les économies d'énergie sont encore plus élevées.

La construction légère (faible valeur de τ) réagit plus rapidement aux changements climatiques et aux variations des gains de chaleur interne que les bâtiments lourds. Il est possible également que, pour de courtes périodes de temps, si, pour un bâtiment léger il est nécessaire de fournir une certaine énergie, pour un bâtiment lourd cette quantité pourrait être réduite, voire non nécessaire.

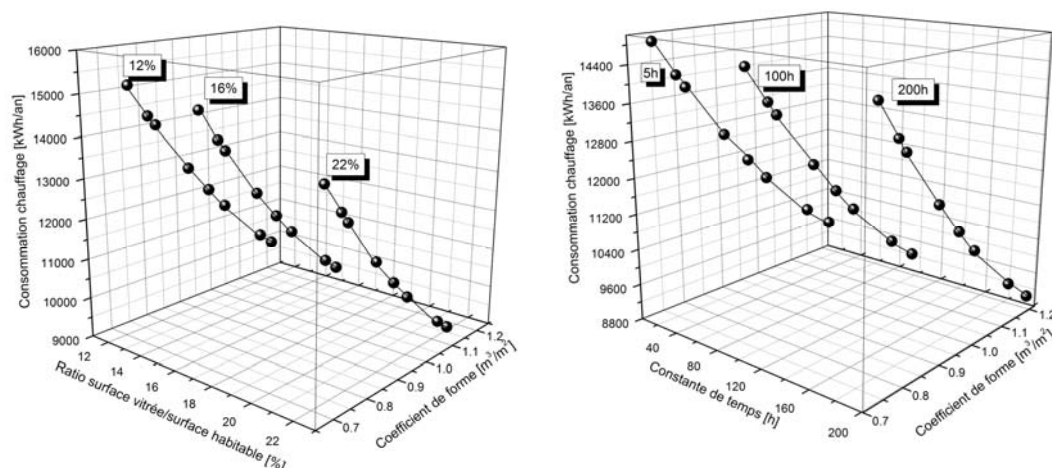


Figure 3. Impact corrélé du coefficient de forme, surface vitrée et constante de temps sur la consommation annuelle pour le chauffage

Les vitrages d'un bâtiment sont des éléments importants pour un bâtiment et peuvent réduire ou d'augmenter la consommation d'énergie pendant l'hiver ou l'été. La Figure 4 indique que, pour

différents ratios surface vitrée/surface habitable (RVS) et distributions par rapport à l'orientation une réduction d'énergie est obtenue, en particulier pour la mi-saison comme par exemple en octobre ou avril, lorsque le rayonnement solaire prend des valeurs plus élevées.

Les résultats présentés dans la Figure 4 utilisent les mêmes hypothèses que les cas d'étude précédents, fenêtres de type double-vitrage, coefficient de forme égal à 1 et une constante de temps de $\tau = 100\text{h}$.

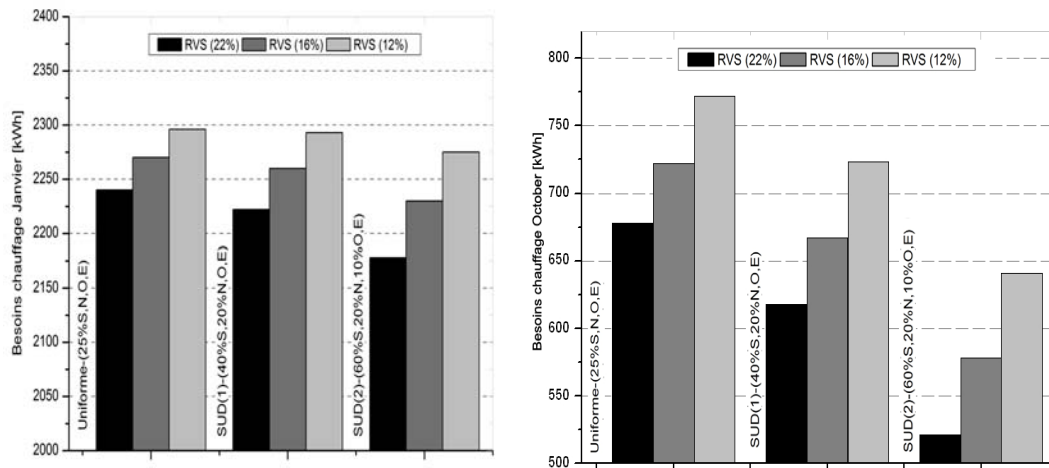


Figure 4. Impact de la surface vitrée et de l'orientation sur la consommation de chauffage pour les mois de janvier et octobre

4. CONCLUSIONS

L'étude présentée montre que la morphologie des bâtiments est un paramètre important de conception dans le processus de conception d'un projet efficacement énergétique. Le climat de Lyon a été choisi pour les simulations dynamiques. Plusieurs séries de simulations ont été réalisées pour différents coefficients de forme, surfaces vitrées, distribution des vitrages sur l'enveloppe du bâtiment et pour différentes inerties thermiques. Une première conclusion de l'étude est liée à la morphologie d'une construction : une réduction d'énergie importante pourrait être obtenue si un bâtiment prend un coefficient de forme plus grand par rapport au cas de référence, qui se traduit par le même volume chauffé mais avec une surface déperditive plus petite que le cas de comparaison.

Les baies vitrées et leur distribution sur l'enveloppe sont aussi des paramètres essentiels lors de la conception d'un bâtiment. Il est démontré dans cet article que l'énergie nécessaire au chauffage peut être réduite si on augmente la surface vitrée et que 60% de cette surface se trouve orientée vers le Sud. L'inertie thermique a été analysée à l'aide de la constante de temps du bâtiment. Les résultats de simulation ont montré qu'un bâtiment lourd du point de vue masse thermique permet une réduction d'énergie allant jusqu'à 12%.

Nous en concluons que les paramètres de conception présentés dans cette étude sont très importants pour l'analyse énergétique des bâtiments et des réductions majeures d'énergie sont possibles grâce à une bonne conception.

5. BIBLIOGRAPHIE

ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie in France

ASHRAE (1992). Thermal environmental conditions for human occupancy, *Standard ASHRAE 55-1992*.

Depecker P., Menezo C., Virgone J., Lepers S. (2001), Design of building shape and energetic consumption, *Building and Environment 36 (2001)* 627-635.

Ourghi R., Al-Anzi A., Krarti M. (2007), A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings, *Energy Conversion and Management 48 (2007)* 300-305.

Jedrzejuk H. & Marks W. (2002), Optimization of shape and functional structure of buildings as well as heat source utilization. Basic theory, *Building and Environment*, Volume 37, Issue 12, Pages 1379-1383.

Persson M.L., Roosa A., Wall M. (2006), Influence of window size on the energy balance of low energy houses, *Energy and Buildings*, Volume 38, Issue 3, Pages 181-188.

CSTB (2005), Réglementation Thermique 2005.

Antonopoulos K. A., Koronaki E. P. (2000), Effect of indoor mass on the time constant and thermal delay of buildings, *International Journal of Energy Research*, Vol.24, Issue 5, pages 391-402.

EN 832:1998 (1998). Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating - Residential buildings, *CEN*, 1998.

Szalay Z. (2004), Are timber buildings really lightweight?, *European Green Cities Conference* April 2004.

Norén A., Akander J., Isfält E., Söderström O. (1999), The Effect of Thermal Inertia on Energy Requirement in a Swedish Building - Results Obtained with Three Calculation Models, *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, Vol. 1.

Klein S.A. et al. (2000), TRNSYS-Reference Manual, *Solar Energy Laboratory*, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI (USA).

Roux J.J, Proposition de modèles simplifiés pour l'étude du comportement thermique des bâtiments, thèse de l'INSA de Lyon, 1984.