

Analyse comparative du confort estival dans une maison passive massive, une maison passive bois et une maison basse-énergie massive

Ing. S.GILLESSEN
Ir A-M. JANSSEN
Ir M. DAUVIN
GRAMME - Liège

Les performances énergétiques des bâtiments étant en pleine amélioration, nous cherchons à trouver partout des apports gratuits comme l'énergie solaire pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments. Cette étude essaye d'éclairer sur le problème de surchauffe qui est devenu un problème non négligeable dans ces temps.

Mots-clefs : inertie, confort estival, analyse dynamique, maison passive, construction, protection solaire, ventilation nocturne, surchauffe, massivité.

Energy performance of buildings is increasing in time. We are looking for all possible gains that can be obtained, like for example solar energy, to reduce our ecological bill for living. This study tries to enlighten the subject of overheating in one-family houses which is a real problem nowadays.

Keywords : inertia, summer comfort, dynamic analysis, passive house, construction, solar protection, night ventilation, overheating, massiveness.

1. Introduction

La construction est aujourd'hui et depuis toujours un moteur de l'économie mais les utilisateurs des maisons, ainsi que le monde dans lequel nous vivons changent de façon perpétuelle. Cela impacte bien évidemment aussi le monde de la construction. Les clients demandent de plus en plus un haut niveau de confort permanent pour leur habitation.

Ce présent sujet de travail découle directement de l'idée d'une demande plus exigeante du niveau du confort. Dans ce cadre, on évalue le confort estival de trois systèmes constructifs selon des critères précis qui sont définis dans la suite de ce travail. Les trois systèmes de construction sont respectivement une maison passive lourde en béton armé, une maison passive légère en ossature bois et une maison basse énergie traditionnelle en maçonnerie.

Le premier but poursuivi est de déterminer l'impact de l'inertie thermique et donc la massivité du bâtiment, sur la surchauffe et l'inconfort. Dans un deuxième temps, différents logiciels de simulation sont comparés pour trouver le logiciel le mieux adapté à chaque configuration.

Au début du travail des paramètres pour l'étude tels le confort, la maison de référence, etc. ont dû être fixés. Ensuite, une analyse statique, à l'aide du logiciel de la PEB (performance énergétique des bâtiments) et du PHPP (Passivhausprojektiertierunspaket), a été effectuée. Puis une simulation dynamique qui donne des résultats avec une autre approche a été menée. Enfin, reste l'analyse et l'interprétation des résultats.

2. Bases théoriques

Dans cette section, les types de maisons sont définis, respectivement la maison basse-énergie et la maison passive. Ensuite les logiciels de simulation statiques et dynamiques sont examinés et à la fin, l'inertie thermique est définie.

2.1. La maison basse-énergie

La notion de la maison basse énergie n'est pas bien définie dans la littérature. C'est-à-dire que tout le monde utilise ce terme à volonté sans qu'il n'y ait une définition claire. Pour l'étude présente, les caractéristiques pour remplir les exigences actuelles de la PEB sont appliquées pour l'analyse des résultats des

simulations. C'est-à-dire $K \leq 35$, $E_w \leq 80$, $E_{\text{spec}} \leq 130 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ et surchauffe $\leq 6 \text{ 500 Kh}^1$.

2.2. La maison passive

Pour définir une maison passive, les quatre points suivants sont utilisés :

- Le besoin de chaud/froid est inférieur à $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ (par mètre carré de plancher chauffé par an).
- Le besoin en énergie primaire n'excède pas $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Le besoin en énergie primaire intègre la quantité d'énergie utilisée au sein d'une maison. Elle inclut le rendement de production de transformation et de transport de cette énergie.
- Le renouvellement d'air est inférieur ou égal à 0.6 V/h , où V est le volume intérieur net. Ce taux de renouvellement d'air est contrôlé à l'aide d'un test Blowerdoor. Pour effectuer un test Blowerdoor, un ventilateur est placé dans une ouverture du bâtiment (p.ex. dans une fenêtre ou porte) et une surpression et une dépression de 50 Pa est appliquée. Le débit que le ventilateur doit livrer pour maintenir la pression de 50 Pa est mesuré. Ce débit constitue le débit de déperdition par infiltration (n_{50}).
- Le temps de surchauffe en été ne dépasse pas les $10\%^2$.

En retenant ces quatre derniers facteurs, il faut encore ajouter que la maison passive est un standard qui essaye à la fois de minimiser la consommation énergétique, et de favoriser le confort³ des habitants. Tout cela selon des critères bien définis.

2.3. L'inertie thermique

« L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur et à la restituer petit à petit. »

Cette capacité est liée à deux facteurs :

¹ Dans notre cas, l' E_{spec} est le facteur déterminant. Il sera le facteur juste à la limite des exigences tant que les autres facteurs ont encore de la marge.

² La valeur donnée de 10% (36.5 jours) est la limite proposée par l'institut de la maison passive en Allemagne. En Belgique cette valeur doit être inférieure à 5% (18.25 jours). La température de confort étant défini au point 2.3 ci-dessous.

³ Le confort n'est pas un critère défini dans le PHPP. C'est une conséquence. Il est traité dans le paragraphe suivant.

- La diffusivité : Elle exprime physiquement la vitesse avec laquelle un matériau peut évoluer selon les contraintes thermiques extérieures. La formule est la suivante :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho * c} \quad \text{en} \quad \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

- L'effusivité : « La capacité d'un matériau à échanger de l'énergie avec son environnement »

$$E = \sqrt{\lambda * \rho * c} \quad \text{en} \quad \left[\frac{J}{K * m^2 * s^{-1/2}} \right]$$

Où

λ : la conductivité thermique en [W/mK]

ρ : la masse volumique du matériau en [kg/m³]

c : la capacité thermique massique du matériau en [J/kgK]

Pour le confort estival, une grande inertie thermique est favorable. Ceci est obtenu par une basse diffusivité du matériau (le matériau n'a pas tendance à transmettre la chaleur au corps au moment d'un contact) et par une grande effusivité (le matériau a tendance à stocker beaucoup de chaleur).

Les deux facteurs influençant, respectivement la diffusivité et l'effusivité, sont tous les deux fonction des trois mêmes variables. La capacité thermique et la masse volumique sont plus importantes pour le confort estival que la conductivité thermique. Ceci s'explique par le fait que les deux premiers interviennent une fois dans le dénominateur et une fois au numérateur. S'ils augmentent, la diffusivité baisse mais l'effusivité augmente, ce qui est souhaité dans les deux cas. La conductivité thermique a un effet moindre car si elle augmente, elle monte l'effusivité mais aussi la diffusivité ce qui n'est pas le but recherché. La conductivité est donc une arme à double tranchant pour l'inertie.

Conclusion, si une grande inertie est un facteur favorable pour le confort estival, alors un matériau avec une grande masse volumique et une grande capacité thermique est un matériau intéressant. La conductivité thermique joue dans ce contexte un rôle subordonné.

2.4. La surchauffe et température de confort

La surchauffe est un problème qui est apparu avec les premières maisons fortement isolées pendant l'été. Elle vient du fait que ces maisons sont conçues de manière à

capter le plus d'énergie solaire « gratuite » possible, et de garder cette énergie dans la maison en isolant. Cette couche d'isolation sert principalement à diminuer le besoin en chauffage en hiver, et à garder la chaleur produite à l'intérieur du bâtiment. De plus, l'orientation des surfaces vitrées est choisie de telle manière à profiter le plus possible des apports solaires gratuits.

Le fait d'avoir une maison isolée, qui est conçue pour capter le plus d'énergie gratuite possible et garder la chaleur à l'intérieur de l'enveloppe, entraîne que la chaleur solaire, qui entre de façon naturelle dans la maison ne sait plus sortir, et la température intérieure monte. Cela implique qu'en été, il est devenu nécessaire de protéger le bâtiment contre les apports de chaleur solaires, parce qu'à partir d'une certaine température intérieure, les personnes ressentent un inconfort.

Ceci est un problème récent car, apparemment, il y avait quelques caractéristiques principales qui empêchaient l'inconfort estival :

- l'orientation des fenêtres n'était pas toujours étudiée pour chercher un maximum de chaleur ;
- les murs étaient moins, voire pas du tout, isolés ;
- l'inertie du bâtiment était plus grande⁴ ;
- les occupants pratiquaient une ventilation forcée importante en été ;

La température de confort est définie en utilisant la température opérative. Cette température est une moyenne pondérée entre la température intérieure ambiante et la température au contact des parois. La formule de cette température est la suivante :

$$\theta_{op} = a \cdot \theta_p + (1-a) \cdot \theta_a$$

$$a = 0.5 + 0.25 * v$$

Avec :

- θ_{op} : température opérative
- θ_p : température de surface de la paroi
- θ_a : température ambiante
- a : facteur de ventilation
- v : la vitesse de l'air [m/s]

⁴ Ceci est un facteur crucial pour le confort d'été. On parle d'un facteur de multiplication de 2 ou 3 par rapport à une maison basse énergie en maçonnerie.

La température de confort dans les simulations est fixée à 25°C. Cette valeur est la valeur critique à laquelle le confort est assuré pour 90% des personnes exposées à cette température dans ces conditions⁵.

2.5. Les logiciels de calcul : PEB, PHPP et CAPSOL

Il y a beaucoup de logiciels de simulation. Ces logiciels sont divisés en deux grandes familles. Il y a d'une part les logiciels de simulation statique (PEB, PHPP) et d'autre part, il y a les dynamiques (DOE-2, Energyplus, CAPSOL, TRNSYS, Pleiades&Comfie, etc.). Chaque type a ses avantages et ses inconvénients.

Statique :

- + simple,
- + rapide,
- + gratuit,
- + donnent directement des résultats,
- précision des résultats,
- limites au niveau de possibilités d'encodage,
- comparaison à un bâtiment de référence,
- critère de surchauffe différent entre les logiciels,
- objectivité dans les mains des développeurs.

Dynamique :

- + précision,
- + plus de paramètres pris en compte,
- + liberté de modélisation,
- + objectivité dans les mains de l'utilisateur,
- temps de réalisation du modèle est élevé,
- coût élevé du logiciel et aussi de l'étude dynamique.

Dans un premier temps, le bâtiment de référence est modélisé et analysé à l'aide d'un logiciel de simulation statique. Les deux logiciels disponibles pour ce travail de fin d'études sont la PEB et le PHPP. Ce sont les deux logiciels en Belgique qui caractérisent les performances des bâtiments selon les réglementations qui sont actuellement d'application.

Dans un deuxième temps, une simulation dynamique est menée pour essayer d'approcher plus la réalité physique.

⁵ v = 0 m/s.

3. Analyse

Cette section illustre une description du bâtiment retenu pour la simulation, la composition des différents types de bâtiment dans ce cas précis ainsi que les résultats principaux de l'analyse des simulations à travers les différents logiciels statiques et dynamiques.

3.1. Description de l'objet d'étude

La maison Émeraude est constituée de deux cubes qui sont insérés l'un dans l'autre. La surface vitrée au sud-ouest est importante et permet de profiter le plus possible des apports du soleil. Ceci est l'outil classique pour valoriser la chaleur gratuite dans les maisons à faible consommation. Des stores de protection solaire extérieurs sont prévus pour protéger contre une surchauffe excessive.



Figure 1 : Vue commerciale de la maison type Émeraude

Cette maison a l'avantage de ne pas avoir une partie en-dessous du niveau de la terre. Cela perturberait les simulations car le comportement d'une paroi enterrée et une paroi en contact avec l'environnement extérieur complètement différent.

Un autre avantage est que la pièce dans laquelle se produira une surchauffe est aisément prédictible, vu la structure de la maison. Cela permet de restreindre le risque de la surchauffe sur une seule pièce qui est le salon avec la surface vitrée au sud-ouest.

	PAMAFlex	Bois	Traditionnel
Type	Maison unifamiliale		
Standard énergétique	passif		"basse-énergie"
Surface habitable	144.61 m ²		
Volume	595.59 m ³		
Compacité	0,305		
Construction	Mur finition crépi		
U [W/m ² K]	0,1	0,12	0,22
e [cm]	43,6	45,8	31,6
	Mur finition aluminium		
U [W/m ² K]	0,11	U:0.11	0,22
e [cm]	44,5	56,7	36,5
	Toiture principale		
U [W/m ² K]	0,08	0,08	0,21
e [cm]	57,5	59,6	41,1
	Toiture annexe		
U [W/m ² K]	0,08	0,07	0,21
e [cm]	59	63,6	56,9
	Dalle		
U [W/m ² K]	0,11	0,11	
e [cm]	59	44,5	
	Chassis		
Uf [W/m ² K]	0,76		1,09
e [cm]	3,6		2,5
	Vitrage		
Ug [W/m ² K]	0,6		1
e [cm]	4,3		1,7
g	0,35		0,6
Ventilation	type D		type C
échangeur de chaleur	η: 82%		/
ECS	Boiler électrique 250l		

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des types de bâtiments

Ce tableau montre les caractéristiques des configurations possibles de la maison Emerald, surtout au niveau des performances énergétiques de l'enveloppe.

3.2. Résultats

Cette partie montre les résultats de toutes les simulations réalisées. Pour faciliter la lecture, la matrice complète qui nous a servi pour l'explication des résultats.



		 PAMAflex	
	5330 Kh	1335 Kh	950 Kh
	465 h	255 h	140 h
	1350 Kh	190 Kh	650 Kh

Figure 2 : Valeur de surchauffe simulée par différents logiciels (PEB, PHPP et CAPSOL) et suivant différents systèmes constructifs

Résultats concernant les logiciels

- La **PEB** donne les résultats les plus pessimistes. Pour la maison traditionnelle, les résultats sont les plus proches de la simulation dynamique. Etant donné que contrairement à CAPSOL, la PEB prend en compte les gains internes, les résultats semblent fiables dans ce cas précis.
- Le **PHPP** donne les résultats les plus optimistes. Il faut noter que la surchauffe dans son cas ne représente pas la même chose que dans les deux autres logiciels et favorise nettement le bois. Le PHPP peut seulement être

utilisé pour l'évaluation de la surchauffe dans un cas d'une maison très lourde car elle n'aura pas des grands maxima de température qui sont négligés dans ce logiciel.

- **CAPSOL** donne les résultats les plus précis mais ça reste une représentation de la réalité car il reste toujours des effets qui ne sont pas pris en compte. L'investissement de temps pour la modélisation est considérablement plus élevé que pour une simulation statique.

Résultats concernant les types de bâtiment

- La **maison traditionnelle** a peu de problèmes de surchauffe. La combinaison de la grande masse et du niveau d'isolation plus bas fait que suivant les logiciels statiques, c'est la maison la plus confortable. En CAPSOL sa performance lui permet d'arriver à la deuxième place derrière la maison PAMAFlex.
- Le **modèle bois** a les plus mauvais résultats dans toutes les simulations. Son niveau d'isolation ne lui permet pas de se protéger contre la chaleur. L'inertie est trop basse pour reprendre la quantité totale des apports solaires.
- Le bâtiment **PAMAFlex** a un grand confort estival grâce à son inertie tout comme la maison traditionnelle. Le fait de trouver des résultats moins bons en PEB et au PHPP s'explique par le fait que l'inertie n'est pas bien prise en compte par les logiciels statiques. La simulation dynamique prouve cela.

Résultats généraux

- Une protection solaire est absolument nécessaire pour éviter la surchauffe. L'inertie seule ne peut pas lutter contre la chaleur. Un bon moyen est des stores mobiles. Des solutions architecturales peuvent aussi avoir un effet positif.
- La ventilation nocturne est un bon moyen d'évacuation de chaleur excédentaire. La ventilation mécanique peut assurer cet objectif.
- Les fenêtres sont le facteur qui a le plus grand impact sur la surchauffe. La proportion de la surface vitrée et son orientation sont les paramètres qui doivent être bien étudiés pour éviter la surchauffe. Dans ce même contexte, important de citer le facteur solaire qui lui est un paramètre très sensible pour une proportion de surface et une orientation donnée. Il peut influencer une même maison de telle manière à se trouver une fois dans le confort et l'autre fois dans l'inconfort.
- Une maison lourde a une amplitude de variation plus faible qu'une maison légère pour le même niveau d'isolation. Une maison avec une isolation plus élevée a une amplitude moins grande par rapport à une maison moins

isolée avec la même inertie. Il n'y a pas de déphasage entre les températures intérieures car l'effusivité et la diffusivité s'opposent. L'amplitude de variation devient alors le critère d'évaluation principal.

- Pour avoir une idée de la surchauffe, on peut utiliser le PHPP pour la surchauffe dans un bâtiment PAMAflex et la PEB pour une maison traditionnelle. Pour la surchauffe dans une maison à ossature en bois, il faut procéder par une simulation dynamique car la surchauffe est plus critique dans ce cas.

3.3. Conclusions et perspectives

Dans le passé, les performances énergétiques des maisons ne considéraient pas la surchauffe en été comme un problème. Avec l'augmentation des exigences en matière de performance énergétique, cela ne permet plus de considérer ce problème comme négligeable.

Cette étude tente d'approcher la notion de confort estival au travers d'une simulation statique et dynamique. Un certain nombre de critères ayant un impact probable sur le confort sont ciblés et nous avons mis en évidence ceux qui ont une incidence réelle. Les éléments constructifs présentant la plus grande incidence dépendent des surfaces vitrées, de l'inertie et de l'isolation. La maison idéale serait la plus lourde possible, hautement isolée et des surfaces vitrées avec un facteur solaire le plus bas possible, ceci uniquement du point de vue de la surchauffe.

La simulation statique ne convient pas pour juger de la surchauffe potentielle avec précision. Dans certains cas particuliers, ce type d'étude peut suffire, il peut remplacer une longue étude dynamique, car les professionnels ne regardent pas toujours le résultat le plus précis, mais le plus économique. On pourrait par exemple se satisfaire d'une étude d'un logiciel statique pour comparer différentes maisons de même inertie et prendre des décisions opportunes sur différents choix possibles.

La simulation dynamique prend mieux en compte les paramètres des maisons. Néanmoins, cela reste une simulation dans laquelle il y a des paramètres non maîtrisés. En tout état de cause, on constate que les logiciels de simulation restent toujours des approximations de la réalité. Ils sont empreints de différentes imprécisions telles les données disponibles, la précision du modèle, la représentation, etc. De même, l'interprétation des résultats peut entacher des imprécisions.

Cette étude montre que la surchauffe est un critère qui doit être traité de manière soignée, d'autant plus que le design des maisons modernes se développe vers des

habitations très ouvertes, ceci aggravant la situation. Un défi futur sera d'innover dans des techniques qui permettront de capter le plus de chaleur possible lorsqu'on en a besoin et de limiter l'entrée de chaleur à d'autres moments et cela au plus près du besoin réel de chaleur. Actuellement, les moyens traditionnels pour protéger contre la surchauffe : se protéger contre le soleil et augmenter l'inertie de la maison.

Une gestion des protections plus dynamiques et tenant compte des paramètres propres de la construction tels la massivité, l'orientation, etc., des prévisions météo, etc., serait sans aucun doute une solution au problème de surchauffe dans certains bâtiments.

4. Sources

- [1] EOHT, (page consultée en janvier 2015), EOHT : Encyclopedia of human thermodynamics, Adresse URL : <http://www.eoht.info/>
- [2] MAGYAR, Z., *Indoor Environmental Quality*, 2015
- [3] MAISON PASSIVE (page consultée en mars 2015), Adresse URL : <http://www.maisonpassive.be/>
- [4] MEUNIER, H., *Thermique*, 1986
- [5] PARENT, Thiebaut, *Etude du confort ressenti dans espaces intérieurs et extérieurs*, 2012
- [6] REGION WALLONNE, (page consultée en février 2015), Adresse URL : <http://www.energieplus-lesite.be/>