

Les maisons passives : sont-elles confortables ? écologiques ?

Bruno Peuportier et Stéphane Thiers, MINES ParisTech

Le concept allemand des maisons passives¹ est souvent présenté comme un modèle de performance énergétique. Mais sous nos climats, certains redoutent des surchauffes en été, et même en mi-saison. D'autre part, la sur-isolation induit des impacts environnementaux pour produire ce surplus de matériaux par rapport à une maison traditionnelle. Cet « investissement » environnemental est-il récupéré sur la durée de vie du bâtiment, grâce aux économies d'énergie ?

Pour répondre à ces questions, des outils de simulation thermique et d'évaluation des impacts environnementaux (analyse de cycle de vie) ont été appliqués à une réalisation : il s'agit de deux maisons passives construites en 2007 à Formerie, dans le département de l'Oise (60) par l'entreprise Les Airelles Construction. Ces deux maisons jumelles ont une surface, une orientation et une disposition identiques (excepté le garage), et comportent deux niveaux.

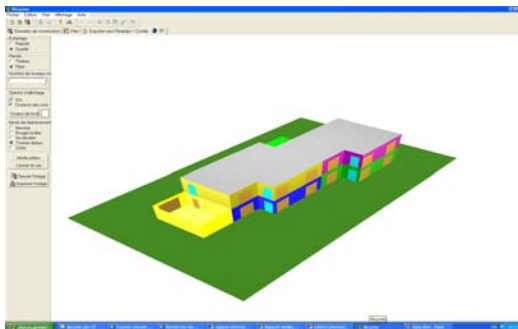


Maisons passives à Formerie (Oise), Entreprise Les Airelles Construction

La première étape consiste à saisir la géométrie du bâtiment. Le logiciel ALCYONE 2.1 a été utilisé afin d'effectuer une simulation thermique à l'aide du logiciel PLEIADES-COMFIE². Dix zones thermiques ont été définies avec, pour chacun des deux logements :

- une zone séjour + cuisine (occupation jour, orientation sud),
- une zone entrée + bureau (occupation occasionnelle, orientation nord),
- une zone chambre + salon (occupation nuit, orientation sud),
- une zone chambre + salle de bain (occupation nuit, orientation nord),
- une zone garage, non chauffée.

Le comble situé au dessus de l'isolant est considéré à température extérieure, donc cet espace n'est pas modélisé en tant que zone. La surface chauffée de chaque logement est de 132 m².



Vue 3D des différentes zones thermiques (logiciel ALCYONE)

Les zones de l'étage orientées au sud sont susceptibles de mieux profiter du soleil l'hiver mais aussi de surchauffer l'été. Il est donc pertinent de s'intéresser plus particulièrement à ces zones lors de l'analyse des

¹ Besoins de chauffage annuels inférieurs à 15 kWh/m², infiltrations d'air inférieures à 0,6 volume par heure sous une différence de pression de 50 Pa (mesure par un test de porte soufflante), consommation totale en énergie primaire inférieure à 120 kWh/m² par an, cf. sites www.lamaisonpassive.fr et www.passiv.de

² cf. site www.izuba.fr

résultats de simulation. Des masques ont été spécifiés sur les vitrages des façades sud-est et nord-est afin de tenir compte de la présence d'une grange voisine, d'une part, et de la géométrie particulière de la façade sud-est (présence de balcons, retraits). Des protections extérieures efficaces (stores extérieurs à lamelles) ont été mises en œuvre, ainsi qu'un puits canadien. Ces protections solaires ont été modélisées par une réduction du facteur solaire des vitrages de 80%. Le fichier de données météorologiques employé pour évaluer le risque de surchauffe d'été correspond à l'été caniculaire de 2003 relevé à Montreuil (93).

De faibles ponts thermiques ont été considérés sur l'ensemble des façades au niveau des fondations et du plafond. Les coefficients de déperdition thermique linéique correspondants ont été fixés de manière forfaitaire à 0,1 W/(m.K). Il est difficile d'évaluer ces termes de manière précise car ces transferts sont très dépendants de la mise en œuvre. Ce type de paramètre doit être recalé en fonction des résultats expérimentaux. Une variante avec des ponts thermiques doublés a été évaluée à titre de comparaison.

Des scénarios d'occupations ont été définis pour 4 occupants par logement. La présence est à 80% dans les zones « séjour + cuisine » (rez de chaussée) durant 2h le matin et 5h le soir. Elle est à 100% dans les zones de l'étage entre 22h et 7 h. Des scénarios d'apports internes de chaleur ont été considérés en supposant que l'énergie dissipée par l'ensemble des systèmes consommateurs d'énergie intérieurs (éclairage, électroménager) s'élève à environ 1500 kWh/an/logement. La majorité de cette énergie est dissipée dans les séjours et les cuisines. La consommation d'électricité est supérieure, car par exemple l'eau chauffée dans un lave linge est ensuite évacuée vers l'égoût sans céder sa chaleur au logement. L'hypothèse de 1500 kWh d'apports internes correspond à un logement économe. Elle pourrait doubler si les habitants utilisent des luminaires et des appareils électroménagers très consommateurs d'énergie.

La consigne de chauffage est fixée à 19°C, 24h/24h, dans toutes les pièces du logement (hors garage). Il s'agit bien entendu d'une hypothèse : l'utilisation d'une horloge et d'une régulation par zone pourrait permettre de moduler cette température.

En ce qui concerne le renouvellement d'air, le débit hygiénique correspond à : 135 m³/h pour la cuisine, 30 m³/h pour la salle de bains de l'étage, 30 m³/h pour le WC et 15 m³/h pour la petite salle d'eau du rez-de-chaussée, donc un total de 210 m³/h, soit environ 0,5 volume par heure. La ventilation de toutes les pièces depuis l'extérieur est fixée à ce débit hygiénique, mais un débit de 0,1 vol/h a été ajouté pour représenter les infiltrations. Ce paramètre est difficile à estimer, et doit être recalé en fonction des résultats expérimentaux. Un test de porte soufflante a été effectué sur ces maisons, et a permis de vérifier la performance exigée par le label Maison passive : le débit d'infiltration sous une différence de pression de 50 Pa a bien été inférieur au seuil de 0,6 volume par heure. Mais cette différence de pression varie au cours du temps (selon le vent et les niveaux de température), donc une incertitude subsiste sur le débit moyen durant une saison de chauffe, pris en compte dans les calculs.

Une efficacité de 80% a été considérée pour l'échangeur de la ventilation double flux mais comme l'air entrant par les infiltrations n'est pas préchauffé, une efficacité globale de 70% est prise en compte sur les 0,6 vol/h. Une sur-ventilation nocturne de 10 vol/h, ce qui correspond à l'ouverture des fenêtres, a été considérée pour toutes les pièces du logement (hors garage) de 23h à 8h en été. L'air neuf n'est pas préchauffé en été dans l'échangeur de la ventilation double flux.

Les besoins de chauffage annuels estimés par ces calculs sont inférieurs au seuil de 15 kWh/m² exigé par le label, mais il existe des incertitudes importantes sur les ponts thermiques, les infiltrations d'air et le scénario d'occupation. La période de chauffe s'étale de la deuxième semaine de novembre jusqu'à la mi-mars. Une simulation avec des ponts thermiques deux fois plus importants aboutit à des besoins de chaleur supérieurs de 20% environ, par rapport à la simulation précédente.

Une autre variante a été testée afin d'évaluer la sensibilité des besoins de chauffage à la surface de vitrage sur la façade sud-est. Dans cette variante :

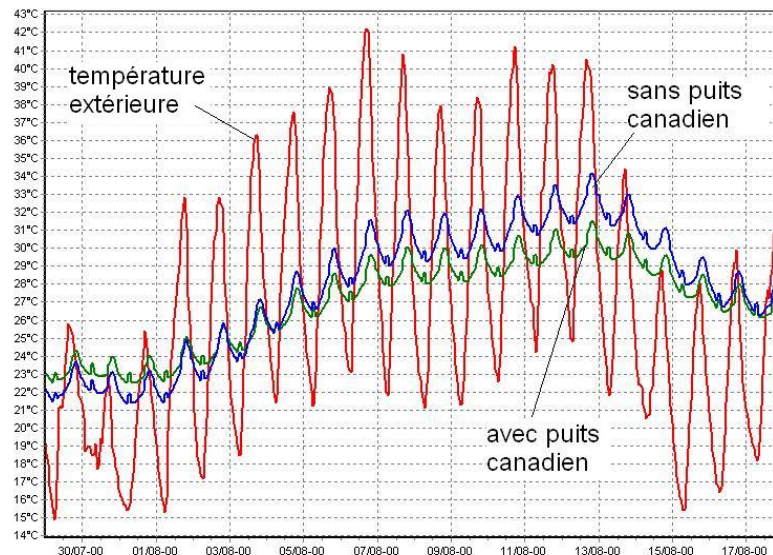
- les portes-fenêtres de 1,80 m x 2,15 m des chambres 2 (1^{er} étage) ont été remplacées par des portes-fenêtres à 0,90 m x 2,15 m, soit une division par 2 de la surface ;
- les portes-fenêtres les plus à l'est des salles de séjour (RdC), de dimension 1,80 m x 2,15 m ont été remplacées par des fenêtres de dimension 0,9 m x 1,20 m, soit une division par 3,5 de la surface.

Les besoins de chauffage calculés augmentent alors d'environ 11,5 % : même avec une enveloppe très fortement isolée donc des besoins de chauffage réduits, les apports solaires sont utiles et les larges baies vitrées sud sont globalement plus performantes que les petites fenêtres. Mais augmenter l'ouverture solaire fait craindre un risque de surchauffe.

En ce qui concerne l'étude du confort, les simulations ont été effectuées sur une année type (station météorologique de Trappes), mais aussi sur une période de canicule afin de savoir si les logements restent confortables lors de ces périodes extrêmes. Sur une période d'été type, et sous réserve d'un comportement adéquat des habitants (fermeture des protections solaires, ouverture des fenêtres la nuit), les températures des

logements restent modérées : même dans la zone la plus exposée (maison ouest, étage, sud), le nombre d'heures où la température dépasse 21°C est de l'ordre de 100 : augmenter l'inertie des maisons n'apparaît pas nécessaire.

Sur une période caniculaire d'une dizaine de jours, le bâtiment semble bien résister puisque la température de la zone la plus exposée (maison ouest, étage, sud) reste environ 10°C en dessous de la température extérieure (avec des volets roulants extérieurs et un puits canadien). Le puits canadien a été évalué par un modèle aux volumes finis (intégré au logiciel COMFIE). D'après ces calculs, il réduit la température maximale des maisons de 2,5°C (cf. le graphe ci-dessous).



Températures évaluées par simulation dynamique (PLEIADES-COMFIE) sur une période de canicule

En zone bruyante, il n'est pas possible d'ouvrir les fenêtres la nuit. L'usage du puits canadien est alors d'autant plus intéressant. A protections solaires équivalentes, une maison passive ne présente, d'après ces calculs, pas plus de risque de surchauffe en période de canicule qu'une maison au standard réglementaire actuel. En effet l'isolation renforcée protège du chaud autant que du froid, elle ralentit les échanges et permet de conserver la fraîcheur de la nuit obtenue par sur-ventilation (la température nocturne se situait entre 21 et 25°C en août 2003, cf. le graphe précédent).

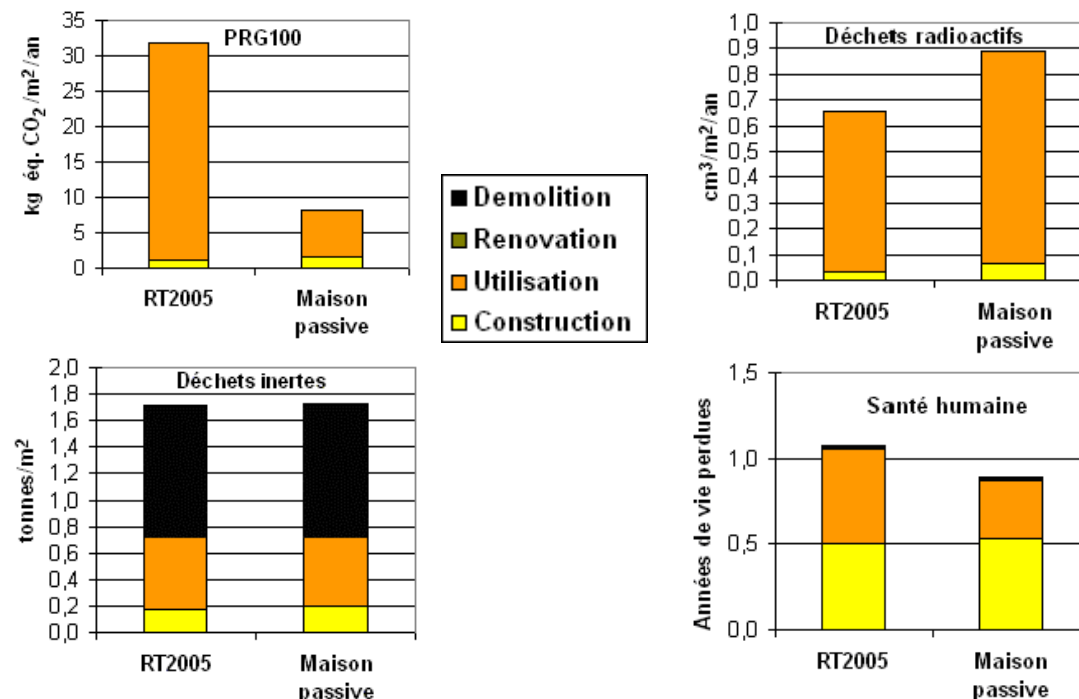
Le logiciel de simulation thermique utilisé a été comparé à d'autres modèles dans le cadre de différents bancs d'essais (Agence Internationale de l'énergie, AICVF) et à des mesures sur cellules test (CEA à Cadarache, EMPA à Zürich). Les maisons passives expérimentales réalisées à l'Institut National d'Énergie Solaire de Chambéry permettront également des comparaisons entre les calculs et les mesures.

Une maison passive mobilise davantage de matériaux qu'une maison standard (isolant plus épais, triple vitrage...). L'analyse de cycle de vie permet d'évaluer l'intérêt global de ce concept, en prenant en compte l'impact supplémentaire de la fabrication des produits et l'énergie économisée. Cette méthode consiste à évaluer les impacts environnementaux depuis l'extraction des matières premières, la fabrication des produits de construction, leur transport et le chantier, jusqu'à la déconstruction, le traitement des déchets et le recyclage éventuel, en incluant bien entendu la longue phase d'utilisation du bâtiment étudié et le remplacement des composants arrivés en fin de vie. Elle a été appliquée au bâtiment et le logiciel EQUER a été développé sur cette base³. La première étape consiste à établir l'inventaire des substances puisées et émises dans l'environnement : ressources, émissions dans l'air, dans l'eau et dans le sol, déchets. Puis des indicateurs environnementaux sont calculés : par exemple le potentiel de réchauffement global (PRG) intègre la contribution des différents gaz à effet de serre. D'autres indicateurs concernent l'épuisement des ressources, la toxicité, la biodiversité, la consommation d'énergie primaire et d'eau, l'acidification (pluies acides), le smog (pics d'ozone), l'eutrophisation (prolifération des algues liée à un apport d'engrais dans l'eau), les déchets (dont les déchets radioactifs).

Les graphes ci-dessous montrent une comparaison avec un bâtiment de forme identique mais des technologies correspondant aux valeurs de référence RT 2005 et un chauffage à gaz. La conception passive réduit la plupart des impacts environnementaux : l'augmentation des impacts liés à la fabrication des matériaux est largement compensée par les impacts évités grâce aux économies d'énergie, une durée de 80 ans étant considérée dans cette analyse.

³ Bruno Peuportier, *Eco-conception des bâtiments et des quartiers*, Presses de l'École des Mines, 2008

La pompe à chaleur utilisée à Formerie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre (ceci étant, la demande d'électricité de pointe lors des journées froides d'hiver oblige à recourir à des moyens de production thermiques, fortement générateurs de CO₂), mais génère une quantité plus importante de déchets radioactifs. La production d'électricité renouvelable, par exemple avec une toiture photovoltaïque comme dans la maison ZEN⁴ ou les maisons Plus énergie⁵ allemandes permettrait d'améliorer le bilan.



Comparaison des impacts entre une maison passive et réglementaire (2 × 132 m², 80 ans), logiciel EQUER

Dans ce bilan, qui inclut l'ensemble de l'énergie consommée dans le bâtiment (y compris l'éclairage et l'électroménager), la phase de construction représente un tiers des émissions de gaz à effet de serre. Les matériaux constituent la plus grande part des déchets produits (surtout en phase de démolition), et contribuent de manière importante à la toxicité (années de vie perdues – DALY-, surtout en phase de fabrication). Des ratios exprimés par m² et par an permettent de comparer différents projets entre eux, cf. le tableau ci-dessous.

MAISONS INDIVIDUELLES (durée d'étude : 80 ans)		
Indicateur	Maison passive, chauffage PAC	Référence RT2005, chauffage gaz
Energie primaire (kWh/m ² /an)	109	209
PRG ₁₀₀ (kg CO ₂ /m ² /an)	8	32
Déchets radioactifs (cm ³ /m ² /an)	0,89	0,66
Autres déchets (t /m ²)	1,73	1,71

Plusieurs pistes peuvent être proposées pour améliorer encore ce bilan, par exemple la production locale d'énergie d'origine renouvelable, le recyclage des matériaux en fin de vie, les économies d'eau et / ou la récupération des eaux pluviales. Mais une interrogation plus globale concerne la pertinence de la maison individuelle, par rapport à un habitat plus groupé permettant de réduire la consommation de matériaux et d'énergie par la compacité, ainsi que les besoins de transport liés à l'étalement urbain. D'autre part, la construction neuve ne représente par an qu'environ 1% du parc existant. Des études similaires ont alors été menées sur des bâtiments existants. Elles montrent que des technologies existent pour atteindre, en réhabilitation, des performances proches des meilleures pratiques dans le neuf : des besoins de chauffage de 27 kWh/m²/an ont été obtenus dans des logements sociaux réhabilités en Allemagne⁶.

Cette étude a été réalisée grâce au soutien de l'ADEME, du PUCA et de la Commission Européenne.

⁴ Alain Ricaud et al., cf. <http://www.cythelia.fr/>

⁵ cf le site de l'architecte Rolf Disch : <http://www.plusenergiehaus.de>

⁶ Cf. le site du projet européen TREES (matériel pédagogique sur la réhabilitation) : <http://www.cep.ensmp.fr/trees/>