

COMPARAISON ET DISCUSSION DE SYSTEMES DE CHAUFFE DANS LE CADRE D'UNE RENOVATION VERS LE STANDARD PASSIF

SOPHIE OBYN ¹, GEOFFREY VAN MOESEKE ¹

¹ Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, www-climat.arch.ucl.ac.be/
place du Levant 1, B-1348 Louvain-la-Neuve
Phone: +32 10 479152 Fax: +32 10 47 21 42
E-mail: sophie.obyn@gmail.com
E-mail: geoffrey.vanmoeske@gmail.com

ABSTRACT

Dans un climat mondial de conscientisation environnementale, les performances énergétiques que doivent atteindre les logements sont de plus en plus élevées. Il s'agit alors de s'interroger sur les systèmes de chauffe permettant de répondre aux besoins réduits de ces nouveaux logements ou habitations rénovées mais, surtout, n'engendrant pas d'émissions polluantes excessives qui réduiraient à néant les efforts de diminution des besoins de chauffe. Par ailleurs, dans un contexte de crise économique, le budget accordé aux logements est limité. C'est pourquoi il s'agit ici d'évaluer et comparer différents systèmes dans le cadre d'une rénovation passive afin d'identifier celui qui répond au mieux aux objectifs économiques et environnementaux actuels.

Pour ce faire, différents systèmes sont modélisés et simulés à l'aide du logiciel de simulation dynamique multizone TRNSYS 17. Ils sont ensuite évalués et comparés sur base de leur coût d'investissement, d'utilisation et à long terme ainsi que des émissions polluantes et de la consommation en énergie primaire qu'ils engendrent.

1. INTRODUCTION

Le standard passif est de plus en plus fréquemment un but à atteindre dans le cadre de la rénovation de logements. L'objectif de cette étude est d'évaluer et de comparer les performances de différents systèmes de chauffe dans le cadre de la rénovation passive d'une habitation de référence. Cette évaluation porte sur plusieurs critères comme le coût d'investissement, le coût d'utilisation, le coût indexé à long terme, la consommation en énergie primaire et la production d'émissions polluantes.

Le logement étudié présente, après rénovation, un besoin annuel de chauffe de 3kWh/m².an. L'objectif est par conséquent de comparer le système choisi par le maître de l'ouvrage à d'autres systèmes en vue de dégager les avantages et inconvénients des différentes propositions et de tirer des

conclusions sur leur pertinence dans le cadre d'un logement au besoin de chauffe très fortement réduit.

2. CHOIX DU LOGEMENT ETUDIE

L'étude porte sur la rénovation passive de l'habitation d'Oliver Henz qu'il a lui-même présentée lors du Passive House Symposium de 2010 [1]. Le choix de ce bâtiment se justifie d'une part par les mesures de monitoring réalisées par le propriétaire – qui permettent de calibrer le modèle de travail – et, d'autre part, par la complexité du système de chauffe mis en place. De la sorte, une fois calibré, le modèle peut être simplifié tout en maintenant un degré de fiabilité élevé de la simulation.



FIGURE 1: COUPE ET PLANS DE L'HABITATION ETUDIEE DU REZ-DE-CHAUSSEE AU SECOND ETAGE

3. SYSTEMES DE CHAUFFE EVALUES

Système mis en œuvre lors de la rénovation

Le système de chauffe est composé, pour la production de chaleur, de 9m² de panneaux solaires thermiques et d'un poêle à pellets placé dans le séjour. L'énergie ainsi produite est transmise à un ballon de stockage de 800 litres. L'eau chaude emmagasinée alimente le réseau d'eau chaude sanitaire ainsi que des radiateurs placés dans les salles de bain et trois batteries de chauffe placées sur la ventilation mécanique contrôlée double flux. Ces dernières permettent d'adapter la température de l'air pulsé selon les trois zones de l'habitation grâce à une régulation gérant une batterie de chauffe par zone :

- Zone 1 : le séjour exposé Sud et très influencé par les gains solaires,
- Zone 2 : les pièces au Nord du rez-de-chaussée et du premier étage qui sont très dépendantes des gains internes,
- Zone 3 : les locaux du second étage, influencés à la fois par les apports solaires et par la température des étages inférieurs.

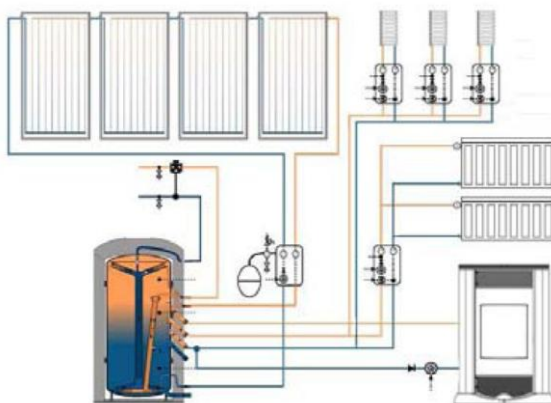


FIGURE 2: SYSTEME DE CHAUFFE MIS EN OEUVRE PAR LES PROPRIETAIRES

Systèmes alternatifs

Le choix des systèmes de chauffe alternatifs étudiés se base d'une part sur système de chauffe mis en place et, d'autre part, sur une analyse statistique des systèmes actuellement choisis lors de rénovations de maisons unifamiliales en Belgique ¹.

¹ Cette analyse se base sur les bâtiments exemplaires présentés sur les sites de l'Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement (IBGE) [2] et de « Low Energy Heating Renovation » (LEHR) [3].

Système de production	Système de distribution	Avec panneaux solaires thermiques	Sans panneaux solaires thermiques
Poêle à pellets	VMC + radiateur sdb	n°1 – Système mis en œuvre	n°4
Chaudière gaz condensation	VMC + radiateur sdb	n°2	n°5
Electricité	VMC + radiateur sdb	n°3	n°6
Chaudière gaz atmosphérique	convecteurs	/	n°7 – Système avant rénovation

TABLE I: SYSTEMES EVALUES A L'AIDE DU LOGICIEL DE SIMULATION

Le système n°1 est celui mis en œuvre lors de la rénovation. Dans les cas suivants, le poêle à pellets est remplacé par une chaudière à condensation (cas 2) ou par une résistance électrique (cas 3). Dans les cas 4 à 7, les panneaux solaires thermiques sont supprimés :

- Cas 4 : Poêle à pellets combiné à un ballon de stockage ;
- Cas 5 : Chaudière à condensation produisant instantanément l'eau chaude sanitaire et l'eau chaude alimentant les batteries de chauffe ;
- Cas 6 : L'entièreté de la production de chauffe est électrique, soit des radiateurs sèche-serviette et des batteries de chauffe électriques ;
- Cas 7 : Système existant avant rénovation. Il est composé d'une chaudière atmosphérique au gaz alimentant un convecteur par local de l'habitation. Ce cas se divise en deux : 7a si l'on récupère l'entièreté du système et 7b lorsque la chaudière atmosphérique est remplacée par une nouvelle chaudière à condensation au gaz.

Logiciel de simulation

Les systèmes et le bâtiment sont modélisés et simulés à l'aide du logiciel de simulation dynamique multizone TRNSYS 17. La qualité de la modélisation a pu être vérifiée grâce aux monitorings de températures réalisés par les propriétaires. La consommation de chauffage calculée par le modèle dynamique, après correction climatique, est de 3,07kWh/(m².an) contre 3,2kWh/(m².an) calculés dans la fiche PHPP. La Figure 3 montre l'évolution des températures intérieures dans le séjour en fonction de la température extérieure en réalité et sur base de la simulation.

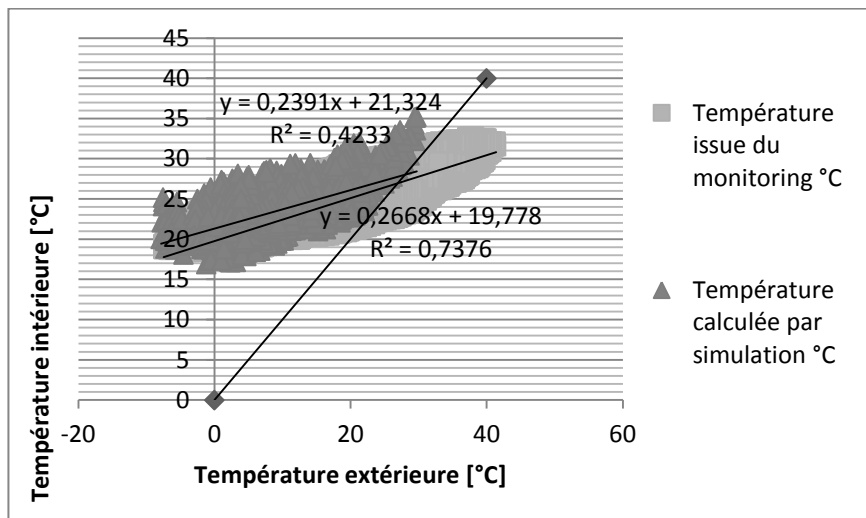


FIGURE 3: CALIBRAGE DU MODELE DE CALCUL POUR LE SEJOUR

4. RESULTATS OBTENUS

Les différents systèmes présentés ci-dessus sont évalués et comparés sur base d'un certain nombre de critères comme le coût d'investissement, le coût d'utilisation, le coût à long terme et les émissions polluantes. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux dans lesquels le meilleur système (en gras) et le moins bon (souligné), selon le critère évalué, sont mis en évidence.

Analyse économique

Le coût d'investissement est obtenu en sommant le coût des différents éléments composant les systèmes de chauffe, sur base des coûts réels transmis par le propriétaire : système et gaines de ventilation, récupérateur de chaleur placé sur la ventilation, corps de chauffe, éventuel ballon de stockage et système de production. Les tuyauteries de distribution hydraulique ne sont quant à elles pas comptabilisées.

En ce qui concerne le coût à long terme des installations, il a été calculé à l'aide du Life Cycle Cost (LCC). L'évaluation du LCC consiste à sommer le coût d'investissement à celui d'utilisation (énergie consommée annuellement pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire) en tenant compte de l'augmentation du coût de l'énergie sur la période de calcul.

$$LCC = TC_{\text{investissement}} + TC_{\text{énergie}} * UPW$$

$$UPW = \left(\frac{1+e}{1+d} \right) * \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+d} \right)^n \right]$$

où $TC_{\text{investissement}}$ est le coût actuel d'investissement [€], $TC_{\text{énergie}}$ est le coût actuel de l'énergie [€] et UPW est un facteur permettant de tenir compte de l'augmentation récurrente du coût de l'énergie. Il est fonction des paramètres suivants : (1) e = taux réel d'indexation annuel de l'énergie, déduction faite de l'indexation générale [%] ; (2) d = facteur d'actualisation [%] ; (3) n = la période de calcul [années].

La valeur de ces taux est difficile à évaluer. Nous choisissons un taux d'actualisation de 4,5%. Cette valeur est élevée si on la compare par exemple aux bons d'état à 8 ans, qui sont passés de 4 à 3% entre décembre 2011 et juillet 2012 [4], mais cherche à représenter des placements à plus long terme. Elle correspond à la moyenne des taux d'intérêt fixes à 25 ans des 5 dernières années [5]. Le taux d'indexation annuel de l'énergie considéré est de 1,93 %, sur base de l'évolution à moyen terme du coût du baril de pétrole selon le Bureau Fédéral du Pan [6]. Cette valeur est assez basse, mais une analyse de sensibilité non reproduite ici montre que des scénarii à 3,5% au-delà de l'inflation générale ne modifient pas les conclusions. Pour les calculs, une période de 30 ans a été considérée et les prix des différentes énergies se basent sur les valeurs de juillet 2012 [7], soit 27c€/kg de pellets, 0,075€/kWh de gaz naturel et 0,23€/kWh électrique. Les coûts d'entretien, supposés équivalents dans tous les cas, sont négligés.

Système	Coût d'investissement [€]	Coût d'utilisation [€/an]	LCC [€]
1	28.000	146,6	31.058,9
2	<u>30.000</u>	146,2	33.051,4
3	24.000	439,4	<u>33.170,6</u>
4	20.000	271,3	25.661,8
5	17.000	227,7	21.753,3
6	11.200	<u>684,5</u>	25.485,2
7a	7.000	319,3	16.998,2
7b	13.000	250,9	18.236,8

TABLE 2: EVALUATION ECONOMIQUE ET COMPARAISON DES SYSTEMES EVALUES

Il est à noter que le LCC du système 7a doit inclure le remplacement de l'ancienne chaudière après une vingtaine d'années car celle-ci avait déjà 10 ans au moment de la rénovation et la durée de vie de ce type de système est d'environ 30 ans.

Le meilleur système par rapport au coût d'utilisation, soit le système 2, est le moins bon sur base du coût d'investissement et son LCC est dans les plus élevés. Par conséquent, même s'il présente le coût d'utilisation le plus faible, cela ne suffit pas à compenser son coût d'investissement élevé.

Le système le plus économiquement intéressant à long terme est le système 7a pour le besoin de chauffe de 3 kWh/(m².an) du logement étudié. Il s'agit de la récupération intégrale du système existant (réseau de distribution, convecteurs et chaudière atmosphérique) combiné au placement d'un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur. Pour les paramètres économiques considérés, il ne s'avère pas intéressant de remplacer immédiatement la chaudière atmosphérique existante par une chaudière à condensation présentant un meilleur rendement (LCC du cas 7b > cas 7a).

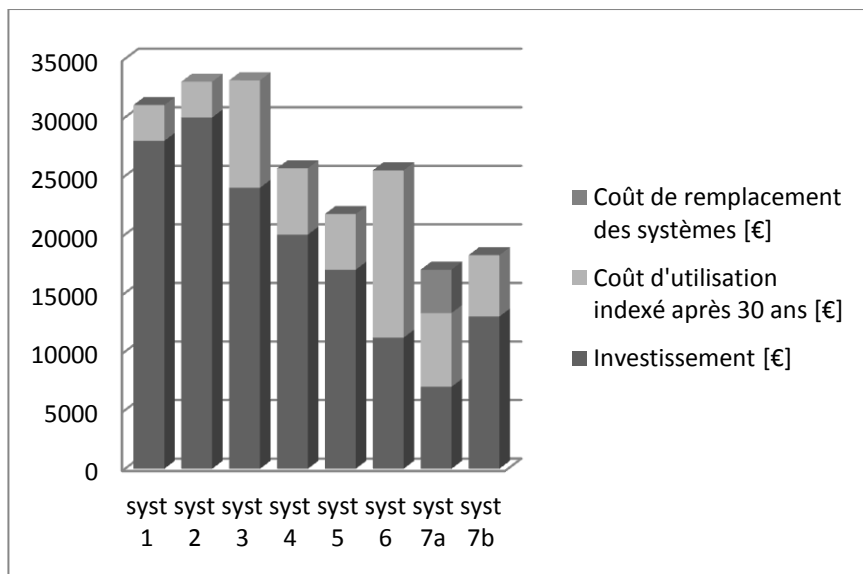


FIGURE 4: LCC DES DIFFERENTS SYSTEMES : COUT D'INVESTISSEMENT, DE REMPLACEMENT ET D'UTILISATION INDEXE

Emissions polluantes et consommation en énergie primaire

Les résultats présentés ici se basent sur les valeurs d'émissions polluantes sur cycle complet disponibles sur le site énergie+ [8].

Syst.	CO ₂ [kg/an]	NO _x [g/an]	SO ₂ [g/an]	Poussière [g/an]	Energie primaire [kWh/an]
1	126,7	933,7	1281,1	± 407,1	2714,1
2	458,1	272,9	216,4	9,4	1949,4
3	471,9	876,9	478,9	29,4	4776,0
4	234,6	<u>1728,2</u>	<u>2371,2</u>	<u>± 753,6</u>	5023,7
5	713,6	425,1	337,1	14,6	3036,6
6	735,0	1365,9	1166,6	45,8	<u>7439,8</u>
7a	<u>1000,6</u>	745,1	472,6	20,4	4257,9
7b	786,2	468,4	371,4	16,1	3345,5

TABLE 3: EMISSIONS POLLUANTES ET CONSOMMATIONS EN ENERGIE PRIMAIRE DES SYSTEMES EVALUES

Les résultats obtenus indiquent que le système 2 (gaz + solaire) est le plus propre à l'utilisation puisqu'il cause les émissions les plus faibles de NO_x, SO₂ et poussières. Cependant, il s'agit d'un des deux systèmes les plus complexes (avec le système 1) par le nombre élevé d'éléments qui le composent. Une analyse LCA devrait a priori légèrement nuancer cette conclusion.

Les meilleurs compris entre consommation d'énergie primaire et LCC sont les systèmes 5 - chaudière à condensation produisant la chaleur instantanément, 7b et 7a - récupération du système existant avec ou sans le remplacement immédiat de l'ancienne chaudière atmosphérique par une chaudière à condensation (Figure 5). Dans le cadre de la comparaison des systèmes sur base de leur LCC et des émissions de CO₂ qu'ils engendrent, le meilleur compromis est difficile à établir. En effet, les émissions engendrées par les systèmes 1 et 4 sont extrêmement faibles par rapport à celles des autres systèmes mais leur LCC est plus élevé (Figure 6). Une façon de juger de la pertinence de ses systèmes est de mesurer les économies de CO₂ qu'ils permettent par rapport au système présentant le meilleur LCC et de comparer le coût de cette économie de CO₂ avec le coût de la tonne de CO₂ sur le marché international. Ce dernier variait entre 15 et 20€/tonne de CO₂ en 2011 et était de 6€/tonne au mois de juin 2012 [9]. La comparaison entre le système 1 qui présente le moins d'émissions et le système 7a qui est le plus

économiquement intéressant permet de chiffrer le coût de l'économie de CO₂ entre ces deux systèmes à 536,3€/tonne économisée. Le même calcul entre les systèmes 4 et 7a conduisent à un coût de 377€/tonne de CO₂. La performance en termes d'émission des systèmes 1 et 4 ne semble donc pas économiquement justifiable.

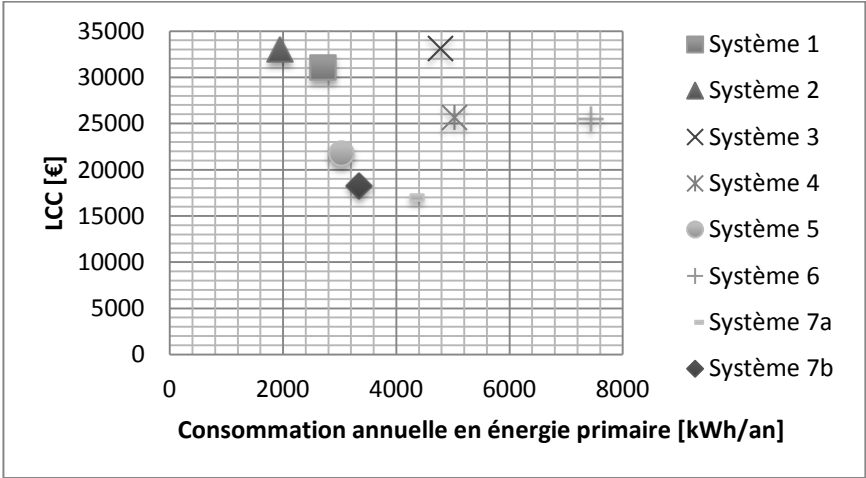


FIGURE 5: COMPARAISON CONSOMMATION EN ENERGIE PRIMAIRE ET LIFE CYCLE COST

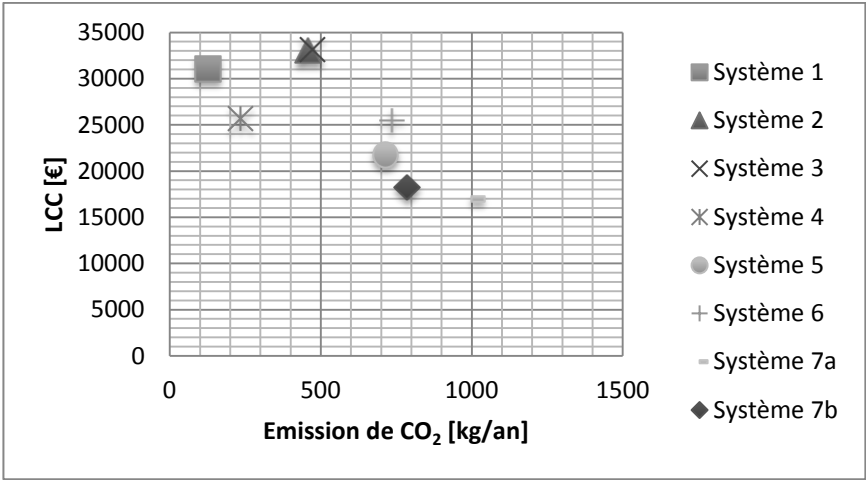


FIGURE 6: COMPARAISON EMISSION DE CO₂ ET LIFE CYCLE COST DES DIFFERENTS SYSTEMES EVALUES

5. CONCLUSION

Dans le cadre d'une rénovation visant les performances très réduites de 3kWh/(m².an), le système le plus performant, parmi les systèmes étudiés, est différent en fonction du critère évalué. En tout état de cause, pour le cas étudié, nos résultats montrent que le remplacement complet ou partiel du système de chauffage lors de la rénovation selon un standard énergétique très élevé ne se justifiait pas économiquement, malgré le bénéfice environnemental que cela peut apporter. Le meilleur compromis semble dans ce cas être la conservation de l'entièreté du système existant. Notons toutefois que pour un standard de performance un peu moins élevé, la part des coûts d'investissement dans l'analyse économique serait moindre et les conclusions plus nuancées. L'écart économique entre le maintien du système existant et son remplacement complet est cependant tel que la conclusion sera a priori identique dans des cas de rénovation passive ou très basse énergie.

REFERENCES

1. O. Henz (2010), Retour d'expérience après un an d'occupation dans une rénovation en maison passive, qui produit ce qu'elle consomme, Passive House'10 Symposium, Brussels, Belgium
2. Site web de Bruxelles environnement – IBGE, explorateur BATEX
http://app.bruxellesenvironnement.be/batex_search/?langtype=2060
3. Site web du projet Low Energy Heating Renovation (LEHR). www.lehr.be
4. Site web de l'Agence de la Dette, www.debtagency.be, consulté le 16 juillet 2012
5. Site web de l'agence immobilière Immotheker, onglet Baromètre de taux, www.immotheker.be, consulté le 12 juillet 2012
6. Bureau Fédéral du Plan (2011). Perspectives économiques 2012-2017
7. Mensuel WEBMAG N°45 : Renouveau – l'actualité de l'énergie durable, juin 2012.
8. <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15568>
9. G.Toussaint. Le marché européen du carbone dans la tourmente, La Libre Belgique du 12/06/2012.