LA MAISON PASSIVE

ENERPHIT : ANALYSE ECONOMIQUE D'UNE RENOVATION DE MAISON INDIVIDUELLE

AVRIL 2016

La Maison Passive France | 110 rue Réaumur - 75002 Paris | 01 45 08 13 35 | www.lamaisonpassive.fr

SOMMAIRE

1 Description de l'étape 1 : 2
enveloppe et ventilation 2
2 Description de l'étape 2 : 3
modernisation de l'ecs et intégration de panneaux solaires thermiques 3
3 Comparaison avec une variante bbc 4
4 Analyse detaillée des coûts avec phEco 9
5 Analyse de sensibilité : la performance économique est-elle solide ? 10
6 Optimisation : une éfficacité renforcée serait-elle payante ? 12
7 Conclusion 13
8 Références 14

ENERPHIT : ANALYSE ÉCONOMIQUE D'UNE RÉNOVATION DE MAISON INDIVIDUELLE

1 DESCRIPTION DE L'ÉTAPE 1 : ENVELOPPE ET VENTILATION

La maison qui nous intéresse ici a été construite dans les années 70 à proximité de Lyon et possède une surface utile de 320m². Son besoin annuel de chauffage est de 105kWh/m² selon le PHPP.

Les parois en béton banché, d'ores et déjà isolées par 10cm de laine de roche, ont fait l'objet d'une isolation thermique par l'extérieur dans le cadre du projet de rénovation.20 cm de polystyrène expansé (lambda 0.036 W/m.K), ont été fixés aux murs par du mortier et des chevilles, puis enduits d'un couche d'acrylique.

La dalle de sol était déjà isolée par 6cm de polystyrène extrudé. Les hauteurs sous plafond ne permettant pas d'augmenter l'épaisseur d'isolant, la dalle a été isolée par l'extérieur par des murs enterrés de 16cm de polystyrène.

Les fenêtres ont été remplacées par des SmartWin au cadre mixte bois/alu (U moyen installé = 0,85W/(m².K)), posées en tunnel au nu extérieur du mur béton, et équipées de stores amovibles. Les caissons des volets roulants ont été isolés par de la laine minérale et rendus étanches à l'air à l'aide d'une membrane.

Le plancher haut sur comble non chauffé, avait d'ores et déjà été isolé par 40cm de ouate de cellulose. L'effort additionnel a consisté en la création d'une couche étanche à l'air : une membrane en polyéthylène a été placée sous la brique plâtrière du plafond. Le rang supérieur de briques plâtrières des murs a été déposé pour raccorder la membrane au mur béton.

Au début des années 80, la maison a été équipée d'une ventilation mécanique simple flux qui alimentait des entrées d'air chauffées par des résistances électriques. Les mesures de rénovation se sont appuyées sur les gaines existantes, et ont ajouté une centrale de ventilation à récupération de chaleur.

Enfin, de nouveaux radiateurs électriques ont été posés dans les chambres et les salles de bains, ainsi qu'un poêle à bois dans le salon.
(Photos et détails de construction : http://europhit.eu/op20-house-st-cyr-au-mont-dor).

2 DESCRIPTION DE L'ÉTAPE 2 : MODERNISATION DE L'ECS ET INTÉGRATION DE PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES

A l'horizon 2020-2025, le ballon d'eau de 200L sera remplacé par un modèle plus efficace, connecté aux panneaux solaires thermiques installés en toiture.

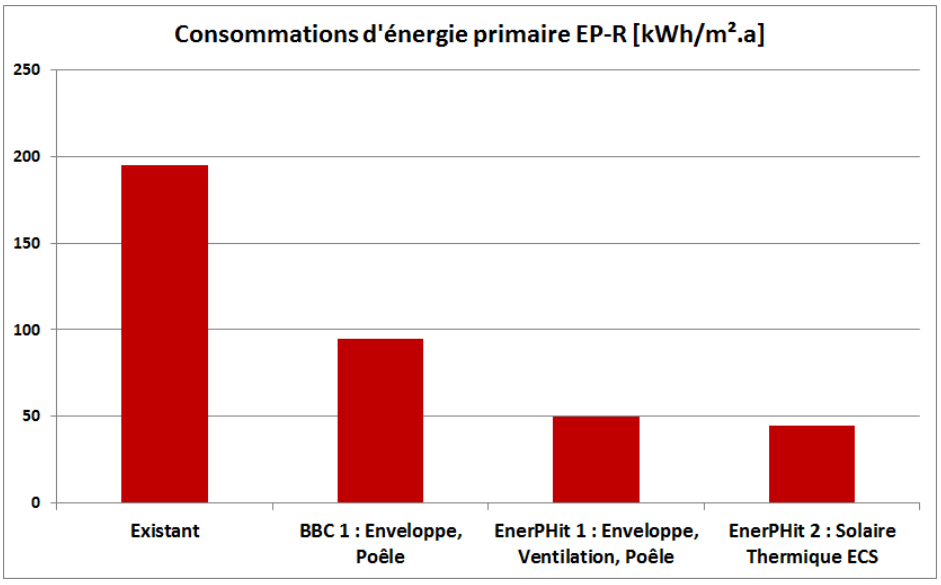
3 COMPARAISON AVEC UNE VARIANTE BBC

La performance économique des bâtiments passifs est constamment comparée aux alternatives basse consommation. Pour les maisons individuelles, le surinvestissement passif se chiffre entre 5% et 15% au-dessus des scénarios de référence BBC (voir par exemple étude [1] en France, et étude de faisabilité sur un projet allemand disponible sur Passipedia [2]). Ce rapport se penche sur les coûts d'investissements additionnels spécifiques à ce projet de rénovation, et s'interroge sur la pertinence de cet investissement en comparaison des coûts opérationnels.

La comparaison s'effectuera avec une variante BBC, définie sur la base de rénovations typiques observées dans la région (source : www.observatoirebbc.org)

Rénovations	EnerPHit	BBC
Isolation des murs	ITE 20 cm PSE	ITE 15 cm PSE
Fenêtres	Triple vitrage châssis bois-alu	Double vitrage châssis alu
Ventilation	VMC avec récupération de chaleur (85%)	VMC sans récupération de chaleur
Étanchéité à l'air	n50 = 0.77h-1	n50 = 4 h-1 Pas de nouvelle membrane étanche au plafond
Besoin de chauffage (PHPP9) [kWh/(m².a)]	23	49

EnerPHit réduit la consommation d'énergie primaire (analyse sur une base renouvelable, consommation EPR) par quatre comparé à la situation existante, et par deux comparé à l'alternative BBC (figure 1).



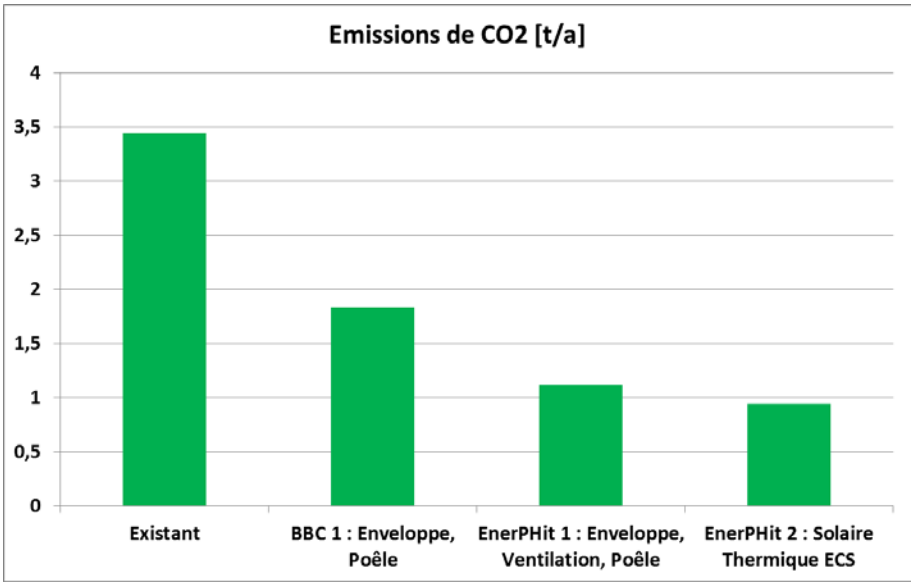


Figure 1 : consommation d'énergie primaire et émission de CO_2 des variantes, d'après le PHPP9

Les coûts réels des mesures de rénovation EnerPHit ont été extraits des factures détaillées. Les coûts des mesures de rénovation BBC ont été calculés à partir de devis disponibles et de la base de données Annuel des prix BTP 2015.

Prix des composants (HT, installés)	EnerPHit	BBC
Isolation extérieure	144 €/m² de mur	136 €/m² de mur
Fenêtre (enlèvement de l'existant, pose des modèles isolés et étanches à l'air)	720 €/m² de fenêtre	580 €/m² de fenêtre
Volets roulants extérieurs	227 €/m² de fenêtre	227 €/m² de fenêtre
Ventilation	8535 €/u	1000 €/u (nouvelles prises d'air et conduits d'évacuation)
Étanchéité à l'air + isolation intérieure du plancher haut	48 €/m² de plafond	0 €/m² de plafond
Nouveau chauffage électrique et doseurs électriques	6 €/m² SRE	6 €/m² SRE
Nouveau poêle à bois étanche à l'air	4550 €, 14 €/m² SRE	4550 €, 14 €/m² SRE

Les coûts fixes sont connus pour chacune des mesures. Par exemple, pour l'isolation des murs, les échafaudages, l'enduit acrylique extérieur et le déplacement des gouttières se chiffrent à 36€/m².

La feuille de calcul « Comparaison » du PHPP9 permet de confronter des variantes de projets, coûts de maintenance inclus (ex : remplacement des filtres).

Partons de l'hypothèse suivante :

- Taux d'intérêt à 2%
- Période d'évaluation financière : 30 ans

- Pas de valeur résiduelle
- Prix du chauffage et de l'eau : 15 c€/kWh

La comparaison entre les variantes EnerPHit et BBC, pour l'étape 1 (murs, fenêtres, ventilation, poêle) donne un total annuel légèrement supérieur à la variante BBC (cf. figure 2), à 6 500€/a. La période d'amortissement actualisée de la variante EnerPHit est de 28 ans. Le coût du kWh épargné est de 14 c€/kWh.

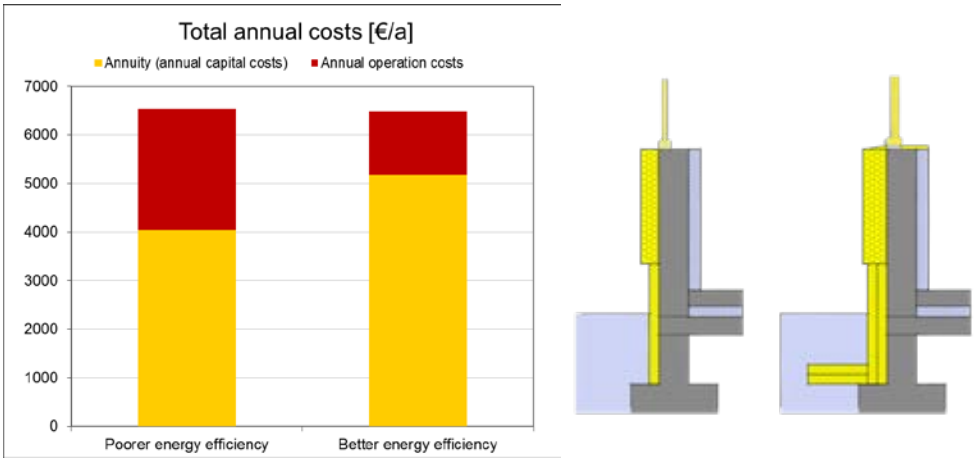


Figure 2 : comparaison des coûts totaux pour l'étape 1. Colonne de gauche : BBC, colonne de droite : EnerPHit

Nous avons ajouté la taxe CO_2 aux coûts opérationnels. Le prix du CO_2 est fixé selon la législation française de 2015 [3] : augmentation progressive depuis 22€/tCO_2 pour la période 2016-2019 jusqu'à 100€/tCO_2 après 2030. Officiellement, le niveau de CO_2 dans le mix électrique français est de 88 gCO_2/kWh ; mais il est de 532 gCO_2/kWh d'après GEMIS [PHPP9]. Le chauffage et l'ECS du projet sont entièrement électriques.

La figure 3 indique que la taxe CO_2 n'est pas un levier suffisamment puissant pour favoriser l'efficacité si la source d'énergie est faiblement carbonée. En effet, vu le prix français et le contenu CO_2 officiel de l'électricité, la taxe CO_2 ne représente que 3% du coût total. D'un autre côté, EnerPHit offre un « Bonus CO_2 » de 3% sur l'investissement total si on considère les prix et le contenu CO_2 électrique allemands.

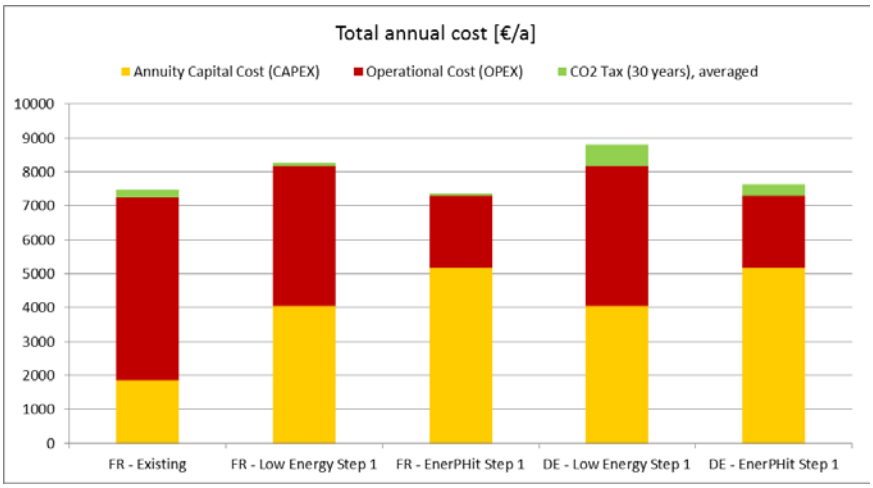


Figure 3 : coût annuels totaux incluant la taxe CO_2 avec les prix de l'électricité en France (FR) et en Allemagne (DE)

La feuille de calcul « Comparaison » nous permet d'évaluer l'efficacité énergétique de chacun des composants. En utilisant cette option sur un certain type de fenêtre (fenêtre à battant, ouverture intérieure – 12m² de surface brute, période d'investissement de 30 ans et durée de vie du produit de 30 ans), cela donne un total annuel similaire pour le triple et le double vitrage (figure 4).

La période d'amortissement actualisée pour le triple vitrage est de 20 ans, le coût du kWh économisé est de 10 c€/kWh. Une analyse similaire effectuée sur la VMC à récupération de chaleur Vs. une VMC classique donne clairement l'avantage à la première (coût du kWh économisé 8 c€/kWh).

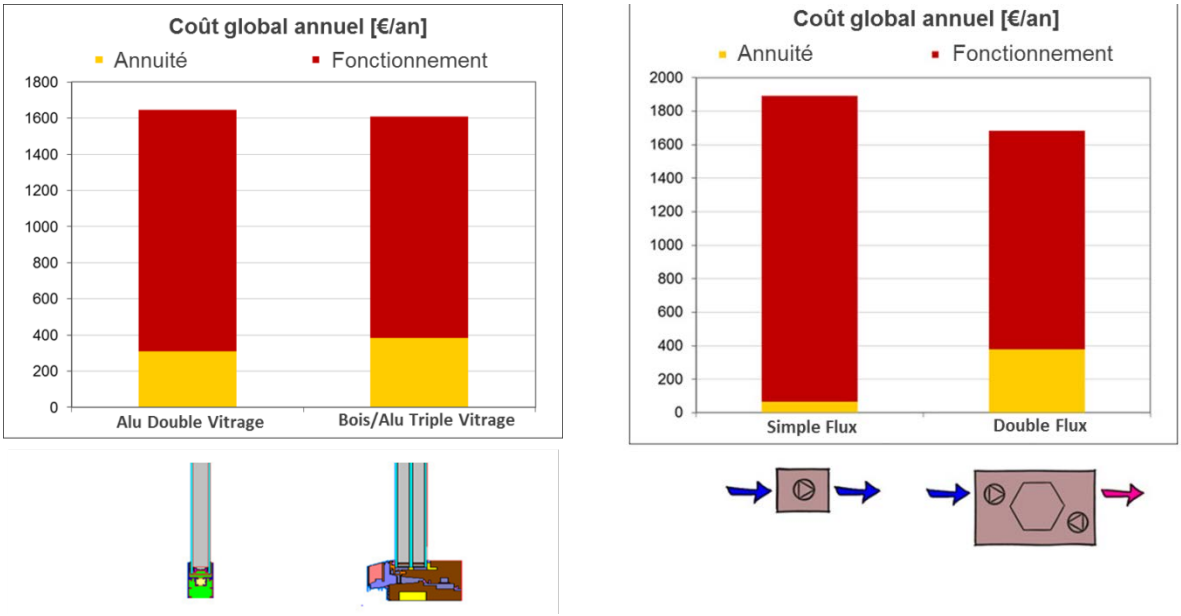


Figure 4 : coûts totaux annuels comparés : double et triple vitrage sur un même type de fenêtre (à gauche), et VMC à récupération de chaleur et classique (à droite)

Les facteurs suivants peuvent expliquer ces coûts totaux modérés :

- **La réutilisation des conduits d'aération existants** a permis d'économiser 1 830€ (35m de gaines à 36€/m, et 5 prises d'air à 30€ = 150€)
- **Pas de traitement spécifique de l'enduit existant** (bonne tenue) avant la phase d'isolation extérieure (30€/m de mur économisé en raclant et remplissant l'enduit existant)
- **Bonne étanchéité à l'air des murs béton,** ce qui a permis d'éviter des mesures d'étanchéité à l'air sur les surfaces de murs non-spécifiques.

Certaines mesures pourraient encore être améliorées :

- Positionnement de l'unité de ventilation et disposition des conduits d'aération
- Valeur lambda de l'isolation des murs, en évitant les chevilles pour fixer les plaques d'isolant

4 ANALYSE DETAILLÉE DES COÛTS AVEC phEco

phEco est un outil d'évaluation économique accompagnant le PHPP9. Il donne une vision complète des couts d'investissement et des coûts opérationnels. Des dépenses auraient de toutes manières dû être engagées pour le bâtiment existant : les fenêtres devaient être remplacées dans tous les cas. Le scénario existant incluait donc de nouvelles fenêtres double vitrage (performance énergétique minimale) et de nouveaux caissons bon marché pour les volets roulants.

En estimant un prix moyen futur de l'électricité à 20 c€/kWh, la variante EnerPHit est celle qui porte l'investissement total le moins lourd, exprimé en termes de valeur actuelle (Figure 5).

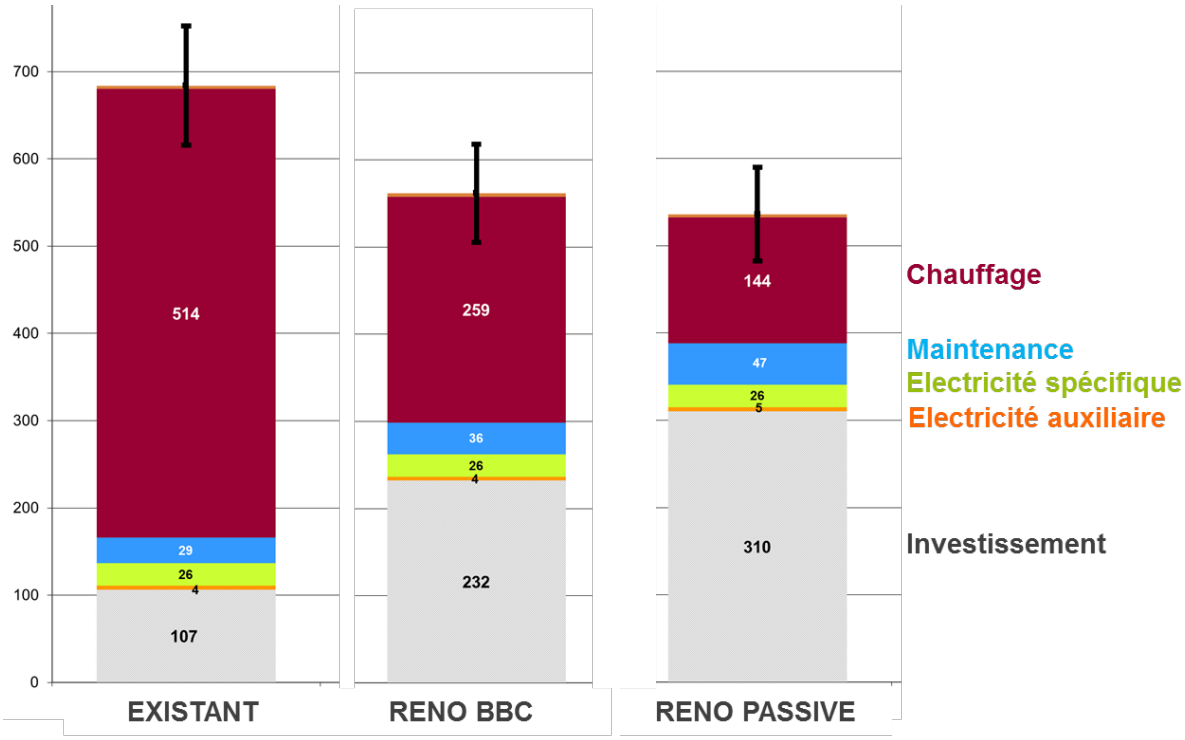


Figure 5 : coût global détaillé en valeur actuelle [€/m²] des variantes, par phEco

5 ANALYSE DE SENSIBILITÉ : LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE EST-ELLE SOLIDE ?

Le marché de la performance énergétique est sujet à de grandes variations de prix. Les modèles phEco permettent de vérifier que l'investissement EnerPHit est solide en tenant compte des inconnues que sont le prix de l'énergie et le prix des composants (isolation, fenêtre, ventilation). On entend ici par investissement solide, un investissement dont la probabilité d'un coût inférieur à l'alternative basse consommation est élevée (coût global de référence : 560€/m²). Une analyse de sensibilité a été menée grâce au plug-in Excel « Crystal Ball ».

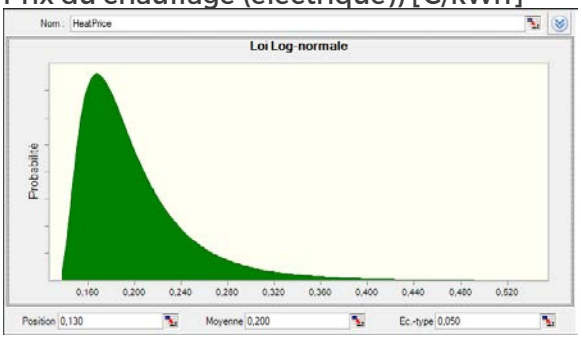
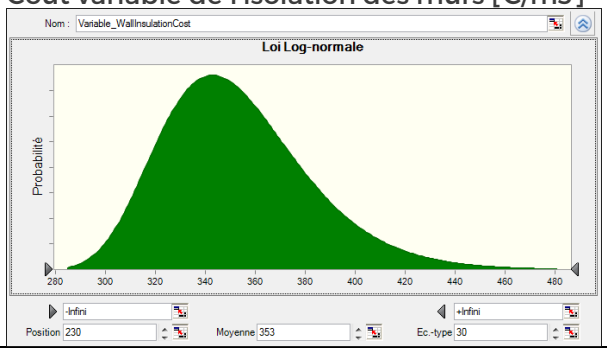
Une répartition réaliste des prix a été mise en place et les paramètres suivants ont été définis :

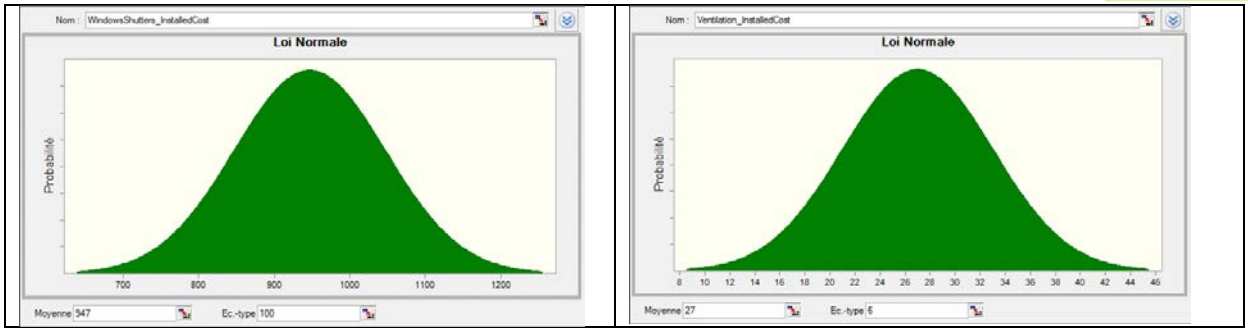
- Période d'évaluation financière : 30 ans
- Valeur résiduelle moyenne des composants après la période d'évaluation financière : 10 ans
- Performance thermique des composants

Hypothèses de sensibilité

- Utilisation de la loi log-normale pour les prix dont le minima est stable : chauffage (électrique), isolation des murs
- Utilisation de la loi normale pour la valeur ajoutée des composants dont les prix sont plus susceptibles de baisser grâce aux économies d'échelle : fenêtres et volets, ventilation à récupération de chaleur
- Ventilation : l'écart-type a été défini d'après le montant économisé grâce au réemploi des gaines existantes : 6€/m²SRE

Répartition des coûts :

Prix du chauffage (électrique)) [€/kWh]	Coût variable de l'isolation des murs [€/m3]
	
Coût d'installation des fenêtres et stores [€/m² de fenêtre]	Coût d'installation de la ventilation [€/m²SRE]



Une simulation Monte Carlo (1 000 essais) montre une probabilité de 80% que l'investissement EnerPHit soit meilleur marché que la variante BBC. Pour cette étude de cas, la proposition EnerPHit est donc économiquement solide. L'analyse de variance montre qu'ici, la performance économique dépend largement du prix du chauffage (69% de sensibilité, figure 7).

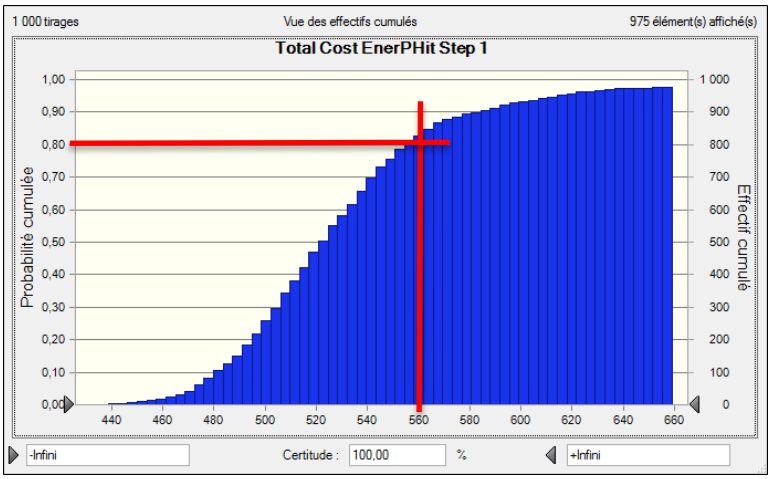


Figure 6 : probabilité cumulée du coût total des rénovations EnerPHit pour l'étape 1 (analyse des coûts par phEco, propagation des incertitudes par Crystal Ball). Coût de référence pour la variante BBC en rouge (560€/m²)

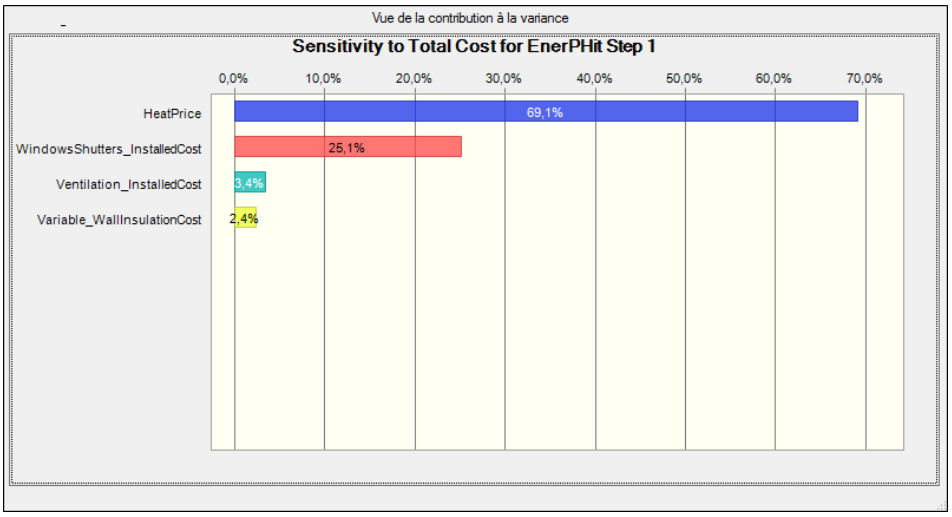


Figure 7 : analyse de sensibilité du coût total des rénovations EnerPHit pour l'étape 1, contribution à la variance

6 OPTIMISATION : UNE EFFICACITÉ RENFORCÉE SERAIT-ELLE PAYANTE ?

La disposition de la ventilation pourrait être améliorée. Les conduits d'extraction d'air ont été placés dans l'isolant au plafond pour maximiser la hauteur sous plafond, et la centrale de ventilation est placée au cœur du bâtiment. Celle-ci n'est pas la plus efficace du marché : une récupération optimale de chaleur pourrait être de 95% contre, 79% actuellement.

Le lambda de l'isolation extérieure pourrait également être plus faible pour la même épaisseur (jusqu'à 0.021 W/m.K).

Au vu du marché actuel, les fenêtres ne pourraient, elles, pas être optimisées.

Le coût total de référence pour les rénovations EnerPHit est de 535€/m² SRE.

Deux variables de décisions ont été étudiées :

- Lambda d'isolation des murs (0.022 à 0.038 W/m.K), coût linéaire lié (+8%). Les coefficients de ponts thermiques restent inchangés.
- Récupération de chaleur (de 79% à 95%), coût linéaire lié (+20%)

Une simulation de recherche des plus bas coûts (dans le respect d'un besoin de chauffage <25kWh/m².a) donne les résultats suivants :

Climat	Lambda d'isolation optimal des murs [W/m.K] *Coût variable de l'isolant [€/m3]*	Ventilation à récupération de chaleur optimale [%] *Coût spécific de la entiation [€/m²]*	Coût total optimal [€/m²]	Besoin de chauffage optimal [kWh/(m².a)]
Lyon (climat chaud - tempéré)	0.021 *383*	79% *27*	528 (référence: 535)	21 (référence: 24)
Nancy (climat froid - tempéré)	0.021 *383*	95% *33*	561 (référence: 564)	26 (référence: 29)

7 CONCLUSION

Les différentes simulations effectuées grâce aux options « Variantes », « Comparaison » et « phEco » du PHPP9 ont donc prouvé que l'investissement EnerPHit était viable économiquement pour ce projet.

Toutefois, les rénovations lourdes ne sont pas systématiquement moins chères que leurs variantes basse consommation. Un effort doit être fait pour simplifier les solutions et mettre en place des produits innovants (produits certifiés à retrouver [5], ou lors de salons dédiés [6] et [7]).

Les concepteurs doivent évaluer chaque mesure en termes de coûts totaux et s'appuyer sur ce que le bâtiment existant a à offrir pour réduire les coûts d'investissement et de maintenance (systèmes existants, géométrie). La valeur résiduelle doit être étudiée de près lorsqu'on optimise le coût total, tout particulièrement dans le cas d'une rénovation par étapes.

8 RÉFÉRENCES

[1] S. Camal, "COMPARATIF ENTRE STANDARD PASSIF ET RT 2012," LA MAISON PASSIVE, 04 2015. [En ligne]. Disponible sur : http://www.lamaisonpassive.fr/wp/wp-content/uploads/2015/06/Rapport_PerfNRJMesureePassif_200415.pdf

[2] B. Kaufmann, "Economic feasibility of Passive House design," En ligne]. Disponible sur : http://www.passipedia.org/basics/affordability/economic_feasibility_of_passive_house_design

[3] Legifrance, "LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte," 17 08 2015. [En ligne]. Disponible sur : https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385

[4] RTE, "RTE Eco2MIX," [En ligne]. Disponible sur : http://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-co2 [Consulté le 02/03/2016].

[5] Passive House Institute, "Component Database," [En ligne]. Disponible sur : http://database.passivehouse.com/en/components/

[6] Passive House Institute, "International Passive House Conference," [En ligne]. Disponible sur : http://passivhaustagung.de/

[7] La Maison Passive, "Passibat - French National Passive House Conference and Fair," [En ligne]. Disponible sur : http://www.passibat.fr/

La Maison Passive France
110 rue Réaumur - 75002 Paris
www.lamaisonpassive.fr