



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport intermédiaire 13 octobre 2010

RENOVÉ

Rénovation des bâtiments: Aspects énergétiques et économiques

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Energie dans les bâtiments
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

HES-SO Valais
Rte du Rawyl 47
CH-1950 Sion
www.hevs.ch

Enerconseil Sàrl
Avenue de France 6
CH-1950 Sion
www.enerconseil.ch

Signa-Terre SA
Rue Sigismond-Thalberg 2
CH-1201 Genève
www.signa-terre.ch

Auteurs:

Michel Bonvin, HES-SO valais, michel.bonvin@hevs.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Andreas Eckmanns
Chef de programme de l'OFEN: Charles Filleux
Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 154396 / 103334

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

RÉSUMÉ	5
TRAVAUX EFFECTUÉS ET RÉSULTATS ACQUIS	5
WP1 - SIMPLIFICATION ET VALIDATION DES DONNÉES DESCRIPTIVES DU BÂTIMENT	5
OBJECTIFS	5
CAHIER DES CHARGES	5
PRÉSENTATION DU QUESTIONNAIRE	6
OUTILS UTILISÉS DANS L'INTERFACE	7
VALIDATION DU QUESTIONNAIRE	8
WP 2 - ELABORATION D'UN MODÈLE DE RÉNOVATION ET DE DÉTERMINATIONS DES COÛTS.	9
MÉTHODOLOGIE	9
ETABLISSEMENT DU MODÈLE DES COÛTS	10
EXEMPLES DE MODÈLES DE PRIX D'ÉLÉMENTS D'ENVELOPPE	11
EXEMPLES DE MODÈLES DE PRIX D'INSTALLATIONS TECHNIQUE	12
VALIDATION DU MODÈLE DES COÛTS	12
ÉVOLUTION DES COÛTS DE CONSTRUCTION	13
WP3 - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	13
CONCLUSIONS	14
DÉCOMPTÉ FINANCIER AU 12 OCTOBRE 2010	14
COLLABORATION NATIONALE	14
COLLABORATION INTERNATIONALE	14
RÉFÉRENCES	15

Résumé

Du point de vue scientifique, les aspects des coûts associés à différents scénarios de rénovation relatifs tant à l'enveloppe du bâtiment qu'aux installations techniques ont été abordés sur la base des observations faites dans le cadre de projets antérieurs, réalisés par les différents partenaires de ce projet. Toutes ces informations/données ont été synthétisées et mises en concurrence afin de définir un modèle de coût qui réponde au critère de départ, à savoir une marge d'erreur inférieure ou égale à 25%. Une fois le modèle des coûts établi, celui-ci a été validé en comparant les résultats obtenus avec des chantiers réels.

La seconde problématique abordée est la détermination des données nécessaires à la description du bâtiment et la façon de les récolter. Après avoir naturellement rêvé d'une description du bâtiment essentiellement basée sur quelques dimensions géométriques caractéristiques, les pourcentages de fenêtres en façades ainsi qu'une estimation des caractéristiques des matériaux déterminée, par exemple, sur la base de l'année de construction, force a été de constater qu'une description plus précise de l'enveloppe visant essentiellement les éléments les plus importants de cette dernière est incontournable. L'interfaçage avec la plateforme de calcul dynamique bSol ne pose pas de problème particulier du point de vue pratique, tout en offrant, en plus d'un calcul énergétique, une appréciation du confort thermique intérieur ainsi que de la façon dont ce dernier va être modifié par la rénovation.

A la lumière de nos expériences acquises tout au long de ce projet, nous avons la conviction que modéliser de façon simplifiée mais suffisamment fiable un bâtiment et proposer des scénarios de rénovation énergétique est faisable par le biais d'un questionnaire dynamique. Déterminer les coûts financiers de ces scénarios dans une fourchette de +/- 25% est tout à fait réalisable tout en envisageant les variations des différents coûts de l'énergie et en mettant en place un modèle d'évolution des coûts dans le temps. Le développement d'un outil en ligne adéquat permettant au propriétaire intéressé de réaliser par lui-même un pré-diagnostic de rénovation énergétique de son immeuble nous paraît en adéquation avec la préoccupation grandissante du public pour ces questions d'avenir.

Travaux effectués et résultats acquis

Le projet a démarré en octobre 2009 par la constitution des équipes et la distribution des tâches. Les travaux réalisés en 2010 concernent les WP1, WP2 et WP3.

- WP 1 : Simplification et validation des données descriptives du bâtiment
- WP 2 : Elaboration d'un modèle de rénovation et de déterminations des coûts
- WP 3 : Présentation des résultats

WP1 - Simplification et validation des données descriptives du bâtiment

OBJECTIFS

L'objectif du questionnaire est de rassembler, en sollicitant au minimum l'utilisateur, toutes les informations indispensables à la réalisation d'un bilan thermique de bonne qualité ainsi qu'à l'estimation des coûts de différentes variantes de rénovation.

CAHIER DES CHARGES

Le public cible n'a pas de connaissances techniques particulières. Le questionnaire doit être didactique et ludique. Les questions doivent nécessiter des réponses « évidentes » pour l'utilisateur. L'utilisateur est guidé dans un questionnaire qui s'adapte de lui-même à la complexité du bâtiment. Ceci permet de ne pas assaillir l'utilisateur de questions inutiles, si son bâtiment est très simple. A l'inverse, si l'on cherche à modéliser un bâtiment complexe, il est raisonnable de solliciter davantage l'utilisateur.

PRÉSENTATION DU QUESTIONNAIRE

Le questionnaire se divise en 5 étapes principales:

1. Paramètres généraux du bâtiment ;
2. Modélisation géométrique du bâtiment ;
3. Caractérisation de l'enveloppe thermique ;
4. Description des installations de production de chaleur ;
5. Consommations d'énergie.

Paramètres généraux du bâtiment

Dans cette première partie sont abordés les points suivants :

- L'année de construction du bâtiment. Cette information permet d'ajuster de nombreux paramètres en fonction des standards utilisés lors de la construction du bâtiment (épaisseur d'isolation, ponts thermiques, caractéristiques des fenêtres,...)
- La localisation géographique. Elle permet de récupérer des données météorologiques crédibles.
- L'horizon. L'utilisateur doit indiquer le type d'horizon vu depuis les différentes faces du bâtiment. Le questionnement reste sommaire, l'objectif est d'identifier les bâtiments les plus extrêmes (p.ex. à l'ombre tout l'hiver).
- La nature du bâtiment. Pour l'instant, seuls les immeubles d'habitations collectives ou individuelles sont traités.
- Le nombre d'habitants. Donnée essentielle pour définir de nombreux paramètres (consommation d'eau chaude sanitaire, gains internes, ...)

Modélisation géométrique du bâtiment

Cette partie permet de déterminer le niveau de complexité du bâtiment et donc de proposer un questionnaire adapté. Elle est composée des questions suivantes :

- Combien y a-t-il de niveaux chauffés ?
- Le périmètre de la zone chauffée est-il identique pour tous les étages ? Si oui, l'utilisateur devra décrire la zone chauffée une seule fois et celle-ci sera dupliquée pour chaque étage. Dans le cas contraire, l'utilisateur devra décrire la zone chauffée étage par étage.
- Quelles sont les caractéristiques de la toiture ? Toiture avec combles non chauffés, sans combles, galetas non chauffés, toiture plate,... La réponse contribuera au calcul de la valeur U et de la surface de la toiture.
- Quelles sont les caractéristiques du plancher ? Cave non chauffée, cave en partie chauffée, cave totalement chauffée, pas de cave.
- Quelles sont les caractéristiques des murs extérieurs des zones chauffées ? L'utilisateur est amené à détailler les types de contact des murs de la zone chauffée. Un contact uniquement vers l'extérieur amène à un questionnaire simple, des types de contacts multiples (vers terrain, vers non chauffé, vers bâtiment mitoyen...) le complexifient.

En fonction de la complexité du bâtiment, quatre interfaces différentes sont proposées :

- Bâtiment simple (type 1) : La géométrie des volumes chauffés est identique à chaque étage et les murs extérieurs sont tous en contact avec l'air extérieur.
- Bâtiment intermédiaire 1 (type 2) : La géométrie des volumes chauffés est identique à chaque étage et les murs sont constitués de contacts multiples.
- Bâtiment intermédiaire 2 (type 3) : La géométrie des volumes chauffés varie d'un étage à l'autre et les murs sont tous en contact avec l'air extérieur.
- Bâtiment complexe (type 4) : La géométrie des volumes chauffés varie d'un étage à l'autre et les murs sont constitués de contacts multiples.

L'utilisateur pourra dessiner la zone, l'orienter, la coter, lui affecter des types de contacts et une hauteur sous plafond.

Caractérisation de l'enveloppe thermique

Par défaut, la qualité thermique des différents éléments de l'enveloppe est déterminée selon l'époque de construction ou de rénovation de l'élément.

Un utilisateur averti aura la possibilité de saisir des valeurs exactes (épaisseur d'isolation, type de structure,...).

Installations de production de chaleur

L'utilisateur décrit le type d'installation assurant la production de chaleur (énergie primaire, technologie, âge du matériel) pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire.

L'âge du matériel détermine le rendement et la qualité globale des installations. L'utilisateur doit indiquer sa consommation d'énergie annuelle. Le questionnaire sera adapté pour chaque type d'installation de chauffage.

Calcul des besoins d'énergie

La consommation d'énergie de chauffage calculée ($Q_{h_{calculé}}$) est déterminée sur la base du questionnaire. Elle est comparée à la quantité d'énergie réellement consommée ($Q_{h_{réel}}$) indiquée par l'utilisateur.

Si les divergences sont trop importantes, (supérieures à 20% d'écart), une série de questions supplémentaires sont posées à l'utilisateur afin de mieux cerner son comportement.

En fonction du type de bâtiment et du type d'écart (positif ou négatif), les éléments suivants peuvent être précisés :

- La température de consigne
- La ventilation naturelle
- L'utilisation des stores
- La présence de grands balcons (ponts thermiques, ombrage)
- La présence de très grandes baies vitrées
- L'utilisation saisonnière du bâtiment

Une nouvelle valeur $Q_{h_{calculé}}$ est obtenue puis comparée à $Q_{h_{réel}}$.

OUTILS UTILISÉS DANS L'INTERFACE

L'interface prévue permettra à l'utilisateur de naviguer dans le questionnaire en limitant au minimum les saisies d'information au clavier.

Ci-dessous : quelques exemple de la maquette d'interface :

Choix du type d'horizon :

L'objectif est de savoir si l'horizon est dégagé ou si le bâtiment se trouve tout l'hiver à l'ombre.

L'utilisateur aura le choix entre des pictogrammes représentatifs:



Choix des installations de chauffage :

Pour décrire son installation, l'utilisateur est invité à sélectionner son équipement dans une liste déroulante :

Chauffage principal
Gaz
Mazout
Pompe à chaleur
CAD
Chaudière à pellets
Chaudière à buches
Électrique direct

Choix du type d'isolation en toiture :

Les pictogrammes sont clairs et exhaustifs pour permettre à l'utilisateur de sélectionner (s'il le connaît) le type d'enveloppe.

Sélectionner le type d'isolation de la toiture		
 Chauffé	 Chauffé	ne sait pas?

VALIDATION DU QUESTIONNAIRE

Plus de trente bâtiments, dont la consommation énergétique était connue, ont été modélisés à l'aide du questionnaire. Les résultats sont concluants, 87% des bâtiments modélisés présentent après calcul des erreurs inférieures à 20%.

Pour les 13% de bâtiments problématiques, l'écart entre le calcul et la réalité est facilement explicable au cas par cas.

WP 2 - Elaboration d'un modèle de rénovation et de déterminations des coûts.

Lors d'une rénovation, même si l'aspect financier n'est pas le seul argument, il est indispensable de répondre à la question principale que se pose un maître d'ouvrage souhaitant entreprendre des travaux sur son bâtiment : combien est-ce que cela va coûter ?

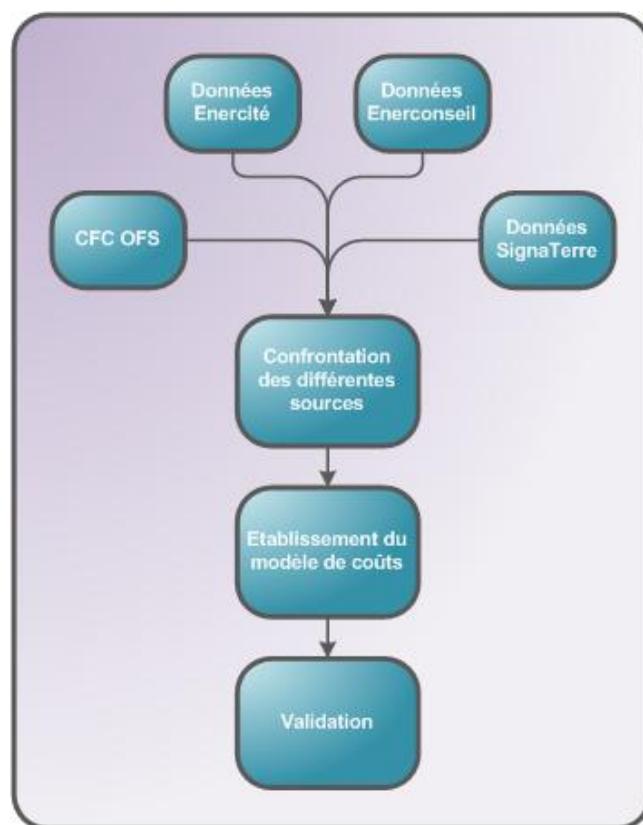
La précision raisonnable attendue pour de telles projections financières est naturellement limitée par la dispersion des offres de soumission remplies par les différents corps de métier (en gros 25 % pour les différents éléments d'enveloppe et facteur 2 pour ce qui a trait aux installations techniques de chauffage et de ventilation). Le modèle de coûts de rénovation à mettre sur pied doit donc viser une précision du même ordre de grandeur.

MÉTHODOLOGIE

Du point de vue scientifique, les aspects des coûts associés à différents scénarios de rénovation relatifs tant à l'enveloppe du bâtiment qu'aux installations techniques ont été abordés sur la base :

- des observations faites dans le cadre de projets antérieurs réalisés par les différents partenaires de ce projet (Signa-Terre via l'outil Immolabel de pré-diagnostic énergétique, Enerconseil Sàrl et la HES-SO Valais via l'étude Enercité sur plus de 250 bâtiments de la commune de Sion) ;
- des coûts transmis par les divers corps de métier concernés ;
- des prix des codes des frais de constructions de l'Office fédéral de la statistique.

Toutes ces informations/données ont été synthétisées et mises en concurrence afin de définir un modèle de coût qui réponde au critère de départ, à savoir une marge d'erreur se situant aux alentours de 25%. Une fois le modèle des coûts établi, celui-ci a été validé en comparant les résultats obtenus avec des chantiers réels. Le modèle a également été soumis à des professionnels du bâtiment afin de détecter des erreurs importantes.



MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉTABLISSEMENT DU MODÈLE DES COÛTS DES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION

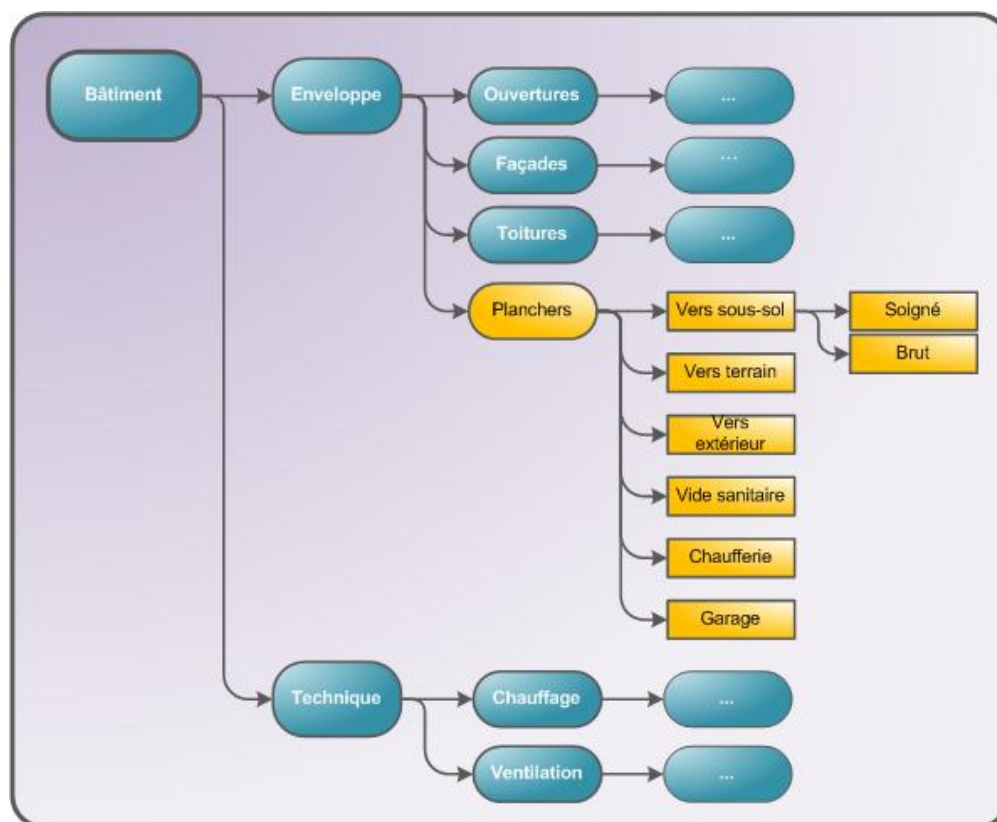
ETABLISSEMENT DU MODÈLE DES COÛTS

Le modèle des coûts a été défini sur la base d'une approche constructive, à savoir une décomposition du bâtiment en éléments pouvant être rénovés séparément (enveloppe, technique). Un modèle de prix est proposé pour chaque élément permettant ainsi à l'utilisateur final de choisir, en plus du scénario de rénovation par défaut, une série de variantes.

Cette approche constructive a été confrontée à une méthode comparative, à savoir une extrapolation en fonction de la grandeur et du type de bâtiment à rénover dont les prix seraient basés sur des devis réels de chantiers types. Toutefois, le manque d'information statistique pour définir les différents facteurs de complexité fait que cette méthode a été rapidement écartée.

La première étape de l'établissement du modèle économique a été de décomposer les divers éléments de construction afin de clairement identifier les éléments à consolider et à renseigner à l'aide du questionnaire.

Le premier découpage consiste à séparer les éléments de l'enveloppe du bâtiment (façades, fenêtres, toitures..) des éléments relatifs à la technique (chauffage et ventilation). Ensuite chaque élément a été décomposé afin d'avoir une granularité permettant de jouer le maximum de scénarios de rénovation possible.



DÉCOUPAGE DES ÉLÉMENTS DE COÛTS AVEC DÉTAILS DES ÉLÉMENTS DE TYPE « PLANCHERS »

EXEMPLES DE MODÈLES DE PRIX D'ÉLÉMENTS D'ENVELOPPE

Isolation de la façade crépie :

Rajout d'une isolation extérieure crépie de X cm de polystyrène avec isolation des embrasures.

Modèle de coût : prix total = somme (quantité * prix unitaire) selon le tableau suivant :

installation chantier	forfait	250
échafaudages	m2/	17 * surface de façade brute
protection des surfaces	m2	3 * surface de façade brute / 4
tablettes de fenêtres	ml	90 * longueur totale des tablettes
découpe ancienne tablette	ml	20 * longueur totale des tablettes
fouille en pied de façade	ml	30 * périmètre du bâtiment
lavage haute pression	m2	5 * surface de façade brute
élimination des déchets	forfait	200
isolation extérieur crépie	m2	surface de façade nette * (50 + 4 * épaisseur additionnelle)
raccords	ml	7 * périmètre du bâtiment
isolations des embrasures	ml	45 * longueur totale des embrasures
caissons de stores	ml	100 * longueur totale des caissons de stores
protections des arrêtes	ml	13 * longueur totale des embrasures * 1.5
isolation du périmètre enterré	ml	38 * périmètre du bâtiment
fixation mécanique isolation	m2	14 * surface de façade nette
total		
imprévus 10%		10%
prix moyen par m2		Prix total / surface de façade brute

L'épaisseur additionnelle est calculée en fonction de la situation avant rénovation, du coefficient de transmission thermique et de l'objectif souhaité selon la formule ci-après.

$$d = \left(\frac{1}{U_{\text{cible}}} - \frac{1}{U_{\text{actuel}}} \right) \cdot \lambda \cdot 100 \quad [\text{cm}]$$

La qualité de la rénovation U_{cible} est fixée pour que le scénario de rénovation global réponde aux exigences Minergie, $U_{\text{cible, moyen}} = 0.15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Toiture isolée sur chevrons :

Les modèles des coûts retenus pour des éléments de constructions les plus simples, comme les toitures, dalles de combles, dalles vers les locaux non-chauffés est un modèle simplifié. Celui-ci a été préféré au modèle « briques Lego », semblable à celui présenté ci-avant pour les façades crépies car la marge d'erreur financière est acceptable et il permet de réduire la quantité de données nécessaires à l'évaluation des coûts.

Rajout d'une isolation de X cm sur l'isolation actuelle, avec dépose de la couverture existante, dépose des lattes et contre lattes, nouvelle sous couverture, nouveau lattage, repose des tuiles récupérées, nouveaux vire vents.

Modèle de coût : prix au m2 = $(147 + 2.4 * \text{épaisseur additionnelle [cm]})$

Isolation de la dalle des combles utilisable :

Rajout d'une isolation de X cm de laine minérale protégée par un plancher en panneaux de fibres de bois.

Modèle de coût : prix au m2 = $48 + 7.5 * \text{épaisseur additionnelle} - 0.13 * (\text{épaisseur additionnelle}^2)$

Isolation dalle vers non chauffé :

Rajout d'une isolation de X cm de laine minérale tamponnée au plafond avec finition propre crépie.

Modèle de coût : prix au m2 = $51 + 7.8 * \text{épaisseur additionnelle} - 0.2 * (\text{épaisseur additionnelle}^2)$

EXEMPLES DE MODÈLES DE PRIX D'INSTALLATIONS TECHNIQUE

Nouvelle chaudière à gaz (jusqu'à 500kW) :

Nouvelle chaudière à gaz; tubage de la cheminée ; remplacement de la régulation et du tampon ECS

Modèle de coût : $\text{prix total} = \text{prix chaudière} + \text{prix cheminée avec} :$

$\text{Prix chaudière} = 18000 + 287 * \text{Puissance de la chaudière en kW} - 0.21 * (\text{Puissance de la chaudière en kW}^2)$

$\text{Prix cheminée} = 6000 \text{ CHF}$

Ventilation double flux :

Installation d'un renouvellement d'air contrôlé double flux permettant de garantir un renouvellement d'air permanent, de garantir la qualité de l'air et de récupérer la chaleur sur l'air de ventilation.

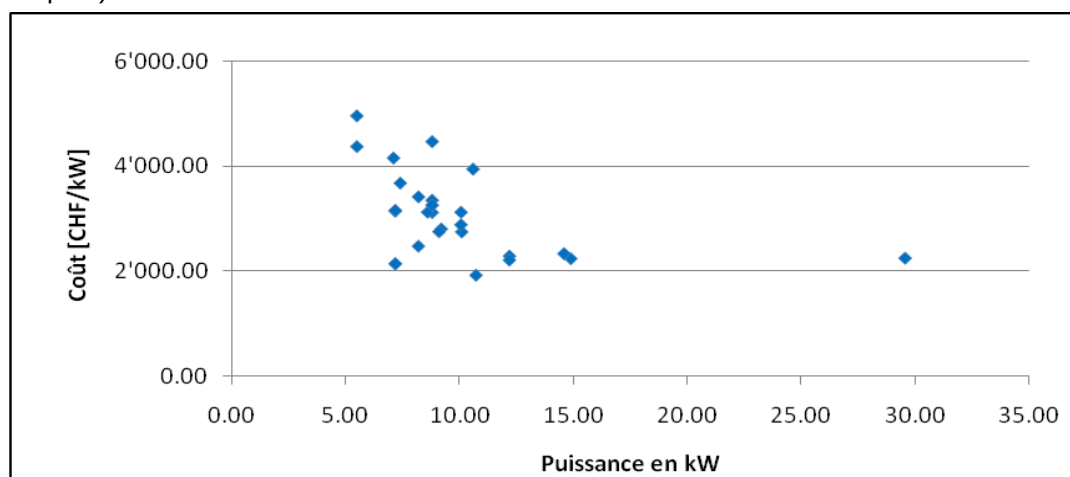
Modèle de coût : $\text{prix} = 120 * \text{SRE}$

VALIDATION DU MODÈLE DES COÛTS

Le modèle des coûts a été validé en le confrontant à des professionnels de la construction, en le comparant à des chantiers de rénovation terminés (immeubles et villas) ainsi qu'aux divers modèles de base.

Concernant les éléments d'enveloppe (toiture, façades, fenêtres, sol) le modèle se comporte conformément aux attentes, la fourchette de 25% est respectée. Lors des tests de comparaison sur des cas extrêmes qui ne sont pas traités dans ce projet, les divergences entre les coûts réels et le modèle ont pu être expliquées.

Pour les éléments techniques, en particulier les systèmes de production de chaleur, la principale conclusion qui s'impose à ce stade des travaux est qu'une estimation des coûts de rénovation est possible. Toutefois un problème supplémentaire apparaît, lié au fait que les offres de soumission qui ont cours dans ces domaines présentent une dispersion pouvant aller jusqu'à un facteur 2 (voir graphique ci-après).

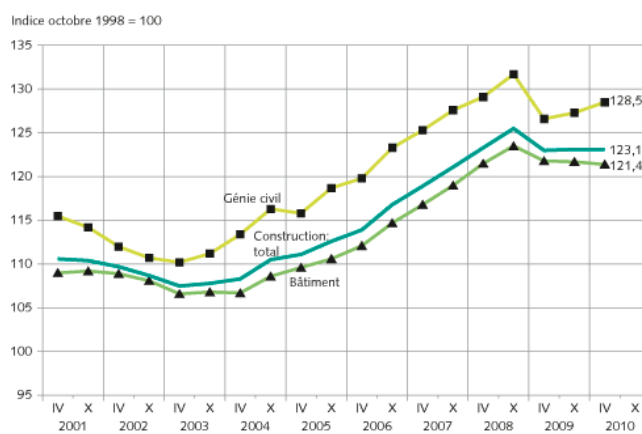


EXEMPLES DE PRIX OFFERTS POUR LES PAC AIR-EAU

Etant donné les fluctuations importantes des prix du marché pour un même travail, il ne semble pas nécessaire d'envisager les variations des différents coûts pour les différentes régions géographiques de Suisse. Si cela s'avérerait toutefois important lors de la mise en œuvre d'une future application, il serait aisé de se caler sur les indices régionaux des prix à la construction. Ces indices sont disponibles auprès de l'Office fédéral de la statistique et l'emplacement du bâtiment est renseignée lors de la saisie du questionnaire.

EVOLUTION DES COÛTS DE CONSTRUCTION

Il est important de préciser que les différents modèles de coût devront être adaptés constamment en fonction des évolutions des prix sur le marché de la construction.



EVOLUTION DE L'INDICE SUISSE DES PRIX À LA CONSTRUCTION (SOURCE OFS)

WP3 - Présentation des résultats

Lors d'une rénovation contraintes et avantages vont souvent de pair. RenovE se voulant un outil de communication il est important que le message reçu par l'utilisateur ne soit pas uniquement un retour sur investissement brut car malheureusement en l'état actuel du prix de l'énergie la plupart des mesures de rénovations ne sont pas rentables d'un point de vue purement économique.

Pour ce faire une communication sur les éléments suivants est tout aussi importante :

- Accroissement du confort, comme par exemple la suppression de la sensation de froid vers des murs ou des fenêtres de mauvaise qualité ;
- Augmentation ou maintien à long terme de la valeur du bâtiment pour la revente ou la location ;
- Durabilité du bien accrue et réduction des frais d'entretien ;
- Possibilité de subventions fédérales, cantonales ou communales ;
- Possibilité de déductions fiscales ;
- Scénarios financiers avec des perspectives d'évolution du coût de l'énergie optimiste et pessimiste ;
- Etat actuel des éléments à rénover, comme par exemple âge de la façade : si celle-ci doit être refaite car elle est totalement défraîchie il est souhaitable de déduire du modèle de prix les coûts nécessaire à la rénovation « esthétique » de celle-ci.

Toutefois, d'un point de vue énergétique le premier scénario présenté est calculé sur la base d'une rénovation de type Minergie. L'utilisateur peut ensuite choisir de combiner diverses mesures de rénovation qui énergétiquement ont un sens.

L'idée est également de permettre à l'utilisateur de venir compléter son modèle de coûts avec des éléments qu'il souhaiterait rénover sans que ceux-ci aient un rapport direct avec les économies d'énergie : modification de ferblanterie, changement de la couverture de la toiture, etc.

Conclusions

A la lumière des expériences que nous avons acquises tout au long de ce projet nous avons la conviction que :

- Modéliser de façon simplifiée mais suffisamment fiable un bâtiment et proposer des scénarios de rénovations énergétique, est faisable par le biais d'un questionnaire dynamique, dans lequel la question suivante serait fonction des réponses données aux questions précédentes.
- Déterminer les coûts financiers de ces scénarios de rénovation dans une fourchette de +/- 25% est tout à fait réalisable tout en envisageant les variations des différents coûts de l'énergie et en mettant en place un modèle d'évolution des coûts dans le temps.
- Le développement d'un outil en ligne adéquat permettant au propriétaire intéressé de réaliser par lui-même un pré-diagnostic de rénovation énergétique de son immeuble est possible.

Pour toutes ces raisons, nous sollicitons la poursuite de l'appui financier prodigué par l'OFEN, de manière à pouvoir réaliser un outil grand public et ainsi divulguer largement les expériences acquises dans ce projet.

Décompte financier au 12 octobre 2010

Le décompte des heures effectuées à ce jour montre que, sur les 2400 heures planifiées pour les deux premières phases des travaux - 2009 (7 - 12) et 2010 (1 - 6) – un total de 2246 heures a effectivement été réalisé. D'autre part, en raison d'un démarrage du projet différé, le projet a pris environ 4 mois de retard par rapport au planning initial et pourrait être terminé en avril 2011.

renovE - Décompte financier au 12.oct. 2010			
	Heures	Frs /h	Montant
Coordination	194	110	21340
Travaux scientifiques HES-SO	1752	74	129648
Enerconseil Sàrl	120	133	15960
Signaterre	130		0
Groupe d'accompagnement	50		0
Total	2246		166948

Collaboration nationale

Dans le cadre du présent projet, une collaboration développée antérieurement avec le bureau *Enerconseil Sàrl* [3] dans le cadre du projet *Enercité* [1] a été poursuivie et une nouvelle a été mise en place avec la société *Signa-Terre SA* [4].

Une collaboration traitant par certains aspects d'une problématique proche de celle de renovE existe depuis 2008 avec l'*EPFL* et le *CREM* [5]. Dans le cadre de cette collaboration la *HES-SO Valais* a élaboré durant l'année 2009 un concept de description de bâtiment pour simulation énergétique, concept basé sur l'utilisation d'un ensemble minimal de données.

Collaboration internationale

Des contacts ont été établis avec la collaboration française AMMIS (*Univ. La Rochelle, Univ. Bordeaux, Ecole des Mines d'Albi, Ecole des Mines de Paris, CEA, société Batifind*), au nous avons participé à une réunion de projet (7 janvier 2010 à Bordeaux).

D'autre part, nous avons été sollicités pour participer au projet Alpeco (projet INTERREG en formation conduit par l'Université de Savoie, avec les participations académiques suivantes : Polytecnico di Torino, HES-SO Valais, Fraunhofer Institute of Building Physics) et avons pris part à la réunion de projet du 7 juillet 2010 au Bourget-du-Lac (F).

Références

- [1] *Enercité, analyse énergétique de bâtiments d'habitation*, Ville de Sion, 2009.
- [2] *bSol - Logiciel d'aide à la décision en matière d'énergétique du bâtiment*, OFEN 2003.
- [3] *Enerconseil Sàrl*, www.enerconseil.ch.
- [4] *Signa-Terre SA*, www.signaterre.ch.
- [5] *Instruments innovants de planification et de management des systèmes énergétiques en zone urbaine – Projet MEU*, OFEN 102775 / 153580.

Annexes

- [1] *Exemple de questionnaire pour un bâtiment simple*
- [2] *Exemple de questionnaire pour un bâtiment complexe*

Annexe 1 : Exemple de questionnaire pour un bâtiment simple

Annexe 2 : Exemple de questionnaire pour un bâtiment complexe

Questionnaire RenovE

Test Villa « Tabin »



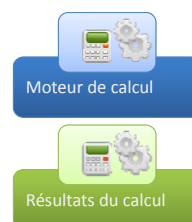
Avant rénovation



Après rénovation

Introduction

- Cet exemple a pour but d'illustrer le flux d'exécution du questionnaire par un exemple réel.
- Les questions posées à l'utilisateur sont écrites en noir, les réponses en orange.
 - Question?
 - → Réponse!
- Les réponses seront sélectionnées dans une liste déroulante ou directement saisies au clavier (valeurs numériques)
- Les bulles bleues symbolisent le traitement des données et les raisonnements effectués par le logiciel
- Les bulles vertes indiquent les données qui seront transmises au module « coût »



Introduction 2

- Code de couleur des diapositives:
 - Vert = zone du questionnaire commune à tous les types de bâtiment
 - Violet = zone adaptée au type de bâtiment (simple, complexe)
 - Bleu = questions supplémentaires en cas d'erreur trop importante
 - Turquoise = Aspect économique
- Les interactions avec l'interface (lorsque l'utilisateur clique) sont symbolisées par une pastille localisant l'endroit du clic et une bulle indiquant la chronologie des clics.



Description du bâtiment

- Maison individuelle
- SRE = 216 m²
- 2 étages
- Sous sol mi-enterré
- Construction en 1956
- Isolation intérieure crépie
- Localisation à Sion
- Horizon très dégagé, exposition plein sud
- Chauffage au gaz
- Chauffage ECS au gaz
- 2 habitants
- Consommation globale : 27'825 kWh par an
- Rénovations : fenêtres de l'étage en 1992

Situation du bâtiment

- Année de construction ?
 - > 1956
- Situation, Emplacement ?
 - > Sion
- horizon ?
 - > dégagé
- Type de logement ?
 - > individuel
- Nombre d'habitants ?
 - > 2



Station météo : SION

ligne d'horizon à 10°C

Eel = 80MJ /m2

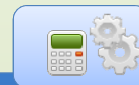
Qww = 75 MJ/m2

...

Qp = 70 x 2 = 140 W

Description physique du bâtiment

- Nombre de niveaux présentant des pièces chauffées?
 - 2
- La surface de plancher chauffée est-elle identique pour chaque niveau?
 - OUI
- Caractéristique de la toiture ?
 - Toiture inclinée sans comble ni galeta
- Type de plancher ?
 - Plancher vers caves



Questionnaire de type 1 requis

Pas de contact vers non chauffé au dernier niveau

Sol contre cave

Pas de contact vers non chauffé au niveau 0

Description physique du bâtiment

- Des murs « chauffés » sont-ils en contact avec un ou plusieurs éléments suivants:
 - Avec des locaux non chauffés (caves, garages, corridors non chauffés, galetas...)
 - NON
 - Avec le terrain
 - NON
 - Avec un bâtiment mitoyen chauffé (villa jumelée, immeuble mitoyen,...)
 - NON
 - Avec un bâtiment mitoyen non chauffé (grange, dépôt, garage...)
 - NON

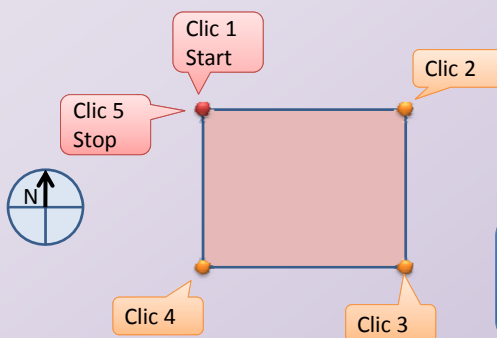


Boîte à outils « contacts » simplifiée:

Les façades sont en contact uniquement avec l'air extérieur

Description géométrique du volume chauffé : niveau 0

- Outil de dessin « poser des points » pour construire la surface chauffée
- Orientation du bâtiment à l'aide de la rose des vents



Hauteur de l'étage ?

-> 2.5 m

Nombre d'étages identiques ?

-> 1



Le niveau 1 aura les mêmes caractéristiques que le niveau 0.

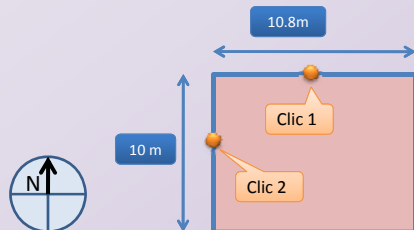
Indication des différents type de contacts : niveau 0 et 1



Suite au questionnement préliminaire, on sait que les zones chauffées du niveau 0 et 1 (qui sont identiques) sont exclusivement en contact avec l'air extérieur. Les contacts des façades sont automatiquement définis contre l'air extérieur. Cette étape n'est pas visible par l'utilisateur.

Calcul des surfaces d'enveloppe : niveau 0

- Avec l'outil « cotation », on clique sur un segment puis on saisit immédiatement la dimension désirée.



- SRE : 108 m²
- Murs vers extérieur = 104 m²
- Sol vers non chauffé = SRE = 108 m²

« Copier – Coller » du niveau 1

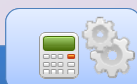


Le niveau 1 étant sous toiture, il convient de prendre en compte la surface de toiture dans l'enveloppe thermique. La surface de toiture est déterminée à l'aide des paramètres suivants:

- SRE du dernier niveau
- Angle d'inclinaison de la toiture (déterminé par trigonométrie)

De plus, la surface des façades du niveau 1 va dépendre de la hauteur de la sablière par rapport à la dalle. Le point suivant questionne l'utilisateur à ce propos.

Description de la toiture



Suite au questionnement préliminaire, on sait que la toiture est à charpente inclinée. L'utilisateur doit renseigner certains paramètres supplémentaires pour pouvoir effectuer le calcul des éléments d'enveloppe du dernier niveau de manière correcte.

- **En cours de développement...**
- L'utilisateur a le choix entre deux types de toiture:
 - Toiture à deux pans: c.à.d deux murs pignons + deux murs gouttereaux
 - Toiture à quatre pans: c.à.d zéro mur pignon + quatre murs gouttereaux
- Si c'est la toiture à « murs pignons » qui est sélectionnée, l'utilisateur doit préciser l'orientation (N-S-E-O) de chacun des deux murs pignons (positionnement des fenêtres).
- Dans tous les cas:
 - la hauteur de la sablière par rapport à la dalle du dernier niveau doit être précisée pour calculer la surface des murs gouttereaux
 - la hauteur de la poutre faîtière par rapport à la dalle du dernier niveau doit être précisée pour les calculs de la surface des murs pignons et de l'inclinaison des pans de toit.

Calcul des surfaces d'enveloppe : niveau 1



Vu en plan, le niveau 1 est identiques au niveau 0. Vu en élévation, la méthode de calcul est plus sophistiquée:

- Les façades sud et nord sont des murs pignons, elles sont représentées par un triangle isocèle de hauteur « H=hauteur de la poutre faîtière – hauteur de la poutre sablière ».
- Les façades est et ouest sont des murs gouttereaux, elles sont modélisées par des rectangles de longueur « L=longueur de la façade » et de hauteur « H= hauteur de la sablière ».

SRE 2^{ème} étage = SRE 1^{er} étage = 108 m²

Hauteur poutre faîtière = 3.1m

Hauteur poutre sablière = 0.6m

Angle toiture : $\alpha = \arctan [(Hauteur \text{ poutre faîtière} - Hauteur \text{ poutre sablière}) / (largeur \text{ façade} \times 0.5)] = 24^\circ$

Surface toiture = 108 / cos (24) = 119 m²

Surface murs pignons = $(largeur \text{ façade} \times (hauteur \text{ poutre faîtière} - hauteur \text{ poutre sablière}) / 2 + largeur \text{ façade} \times hauteur \text{ sablière}) = 13.5 + 6.5 = 20 \text{ m}^2$

Surface murs gouttereaux = $largeur \text{ façade} \times hauteur \text{ sablière} = 6 \text{ m}^2$

Surface murs vers extérieur= 2x20 + 2x6 = 52m²



Bilan des surfaces



SRE : 216 m²

Murs

Vers extérieur = 156 m²

Plancher

Vers non chauffé = 108 m²

Toiture

Vers extérieur = 119 m²



Surfaces façades vers ext.

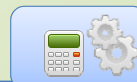
- NORD = 47m2
- EST = 26 m2
- OUEST = 26 m2
- SUD = 47 m2

Qualité de l'enveloppe

- Si l'utilisateur ne sait pas quelle technique ou quelle épaisseur d'isolation ont été utilisées, le logiciel attribue automatiquement des valeurs par défaut déterminées selon l'âge du bâtiment

- **Toiture**

- Épaisseur d'isolation connue?
 - OUI : 6 cm
- Technique d'isolation: est-ce que les chevrons de la toiture sont visibles au dernier niveau?
 - OUI



Isolation sur chevron

- **Murs extérieurs**

- Épaisseur d'isolation connue?
 - OUI : 4 cm
- Technique d'isolation: s'agit-il d'une isolation extérieure (périphérique)?
 - NON

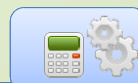


Ponts thermique en tête de dalle
Ponts à chaque cloison intérieure

Qualité de l'enveloppe (suite)

- **Plancher vers non chauffé**

- Épaisseur d'isolation connue?
 - NON



valeur par défaut (1956) :
2cm d'isolation de mauvaise qualité (liège) sous chape

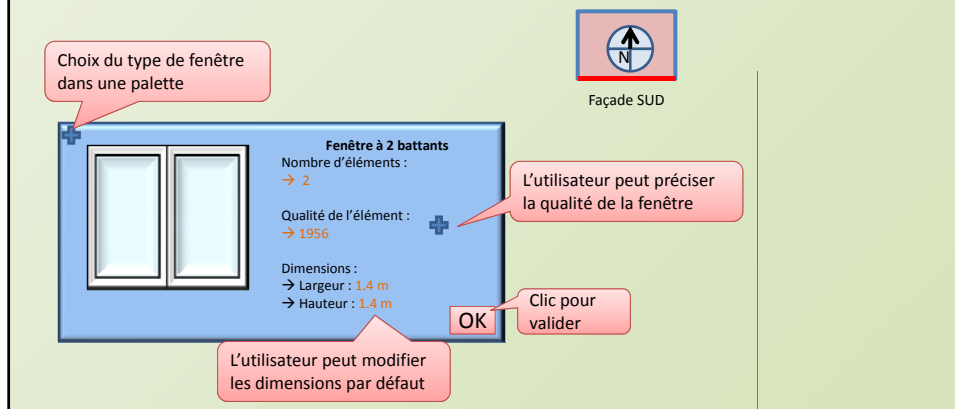
- **Qualité des fenêtres**

- La majorité de fenêtres ont-elles été remplacée?
 - NON

valeur par défaut (1956) :
Uvitre = 3.0 W/m²K
Ucadre = 2.0 W/m²K

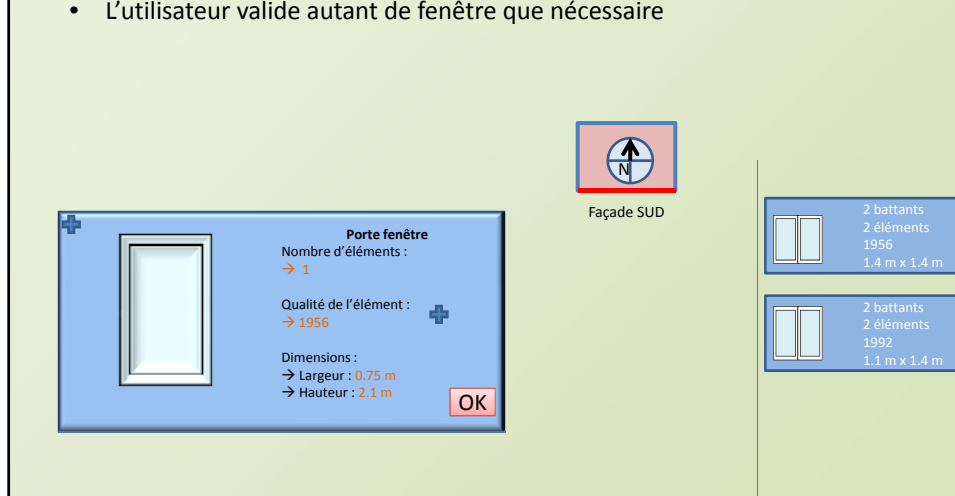
Type et surface de fenêtres

- Sélection du type de fenêtre dans une base de données proposé par le logiciel (fenêtre 2 battants, porte vitrée, ...)
- Chaque type de fenêtre possède des dimensions par défaut, modifiables par l'utilisateur.
- La qualité thermique de la fenêtre est déterminée par défaut en fonction de l'âge du bâtiment. L'utilisateur peut toutefois spécifier manuellement l'âge ou la qualité du vitrage / cadre dans la fenêtre d'édition
- L'utilisateur doit indiquer le nombre de fenêtres de chaque type pour chaque façade.
- La façade en cours d'édition et représentée en rouge sur la miniature du bâtiment



Type et surface de fenêtres

- Le nombre et le type de fenêtre validé s'affiche à droite.
- L'utilisateur valide autant de fenêtre que nécessaire



Surfaces de fenêtres par façade

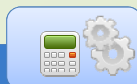


La surface de fenêtre pour chaque façade est déterminée sur la base des données saisies par l'utilisateur:

Nord	= 3.4 m ²
Est	= 4.0 m ²
Ouest	= 2.7 m ²
Sud	= 8.6 m ²

La qualité thermique des fenêtres est liée et enregistrée pour chaque fenêtre

Masses de stockage



Bilan des masses de stockage :

Chape : $SRE * 8 \text{ cm chape}$

Dalle : plafond niveau 0 = $SRE = 108 \text{ m}^2$

Installations techniques

- De quelle nature est l'installation de production de chaleur (chaudière à gaz, pompe à chaleur, bois, ...)
 - Chaudière gaz
- Production d'eau chaude avec la même installation?
 - OUI
- La chaudière a-t-elle été renouvelée depuis la construction du bâtiment?
 - OUI, en 1993
- Quelle est (en moyenne) la consommation annuelle de gaz des 3 dernières années?
 - > 2'650 m³



Rendements installations chauffage :

Chauffage : 0.8

ECS : 0.6

Consommation d'énergie ECS :

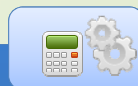
$833 * 2 / 0.6 = 2777 \text{ kWh / an}$

Calcul Qh :

$(2'650 * 10.5 - 2777) * 0.8 = 20'038 \text{ kWh/an}$

$Qh = 20'038 * 3.6 / \text{SRE} = 334 \text{ MJ/m}^2.\text{an}$

Calcul via bSol



Résultats :

Calcul : 384 MJ/m².an

Réalité : 334 MJ/m².an

Ecart : + 15 % → Erreur acceptable, bilan jugé **crédible**

Variantes de rénovations (partie 1)



A présent, le modèle du bâtiment fonctionne de manière satisfaisante.

Chaque élément de façade va être évalué de manière indépendante. La qualité isolante de ces différentes parties va être améliorée avec comme objectifs des valeurs d'isolation dignes d'un label « Minergie »

Potentiel d'économie d'énergie en rénovant chaque élément de manière indépendante:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Isolation périphérique des façades ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 6800 kWh |
| 2. Isolation du plancher du niveau 0 les pièces du sous-sol ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 6700 kWh |
| 3. Renforcement de l'isolation sur chevron de la toiture ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 3900 kWh |
| 4. Ventilation mécanique double-flux avec récupération de chaleur ($\eta=80\%$) | Économie annuelle nette : 3400 kWh |
| 5. Remplacement de toutes les fenêtres (vitrages + cadres) ($U_g=1.1$, $U_f=1.4$) | Économie annuelle nette : 1300 kWh |

Variantes de rénovations (partie 2)



En plus des cinq variantes précédentes, les 3 propositions les plus performantes sont mixées pour produire 4 scénarios de rénovations.

Un cinquième scénario dénommé « Minergie » est proposé, il regroupe toutes les variantes de rénovation de l'enveloppe y.c. une ventilation double flux avec récupération de chaleur.

Mix des trois variantes les plus efficaces:

- | | |
|---------|-------------------------------------|
| 1+2 : | Économie annuelle nette : 13400 kWh |
| 1+3 : | Économie annuelle nette : 10600 kWh |
| 2+3 : | Économie annuelle nette : 10550 kWh |
| 1+2+3 : | Économie annuelle nette : 16900 kWh |

Minergie : Économie annuelle nette : 20900 kWh

Récapitulation des données nécessaires à l'établissement d'un budget rénovation



Sol contre non chauffé	108m ²	U = 1.2	Isolation sous chape
Cloisons vers extérieur	156 m ²	U = 0.75	Isolation extérieure, crépissage
Toiture inclinée	119 m ²	U = 0.53	Isolation sur chevron
Fenêtres		U = 2.9	
Cadre PVC blanc		U = 2	

	Surface	nbr	long. embrasure	largeur (tablette / store)
Petits battants	< 0.5 m ²	2 x	3 m	0.8 m
Battants moyens	< 1 m ²	23 x	50.2m	11.75 m
Grands battants	> 1 m ²	1 x	7 m	2.15 m

Calcul des coûts de rénovation



Rénovation globale : cible « Minergie rénovation »

- Amélioration de l'enveloppe :
 - Toiture ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 43'000 CHF
 - Plancher vers non chauffé ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 7'000 CHF
 - Façades ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 56'000 CHF
 - Fenêtres : 17'000 CHF
- Installation de ventilation:
 - Ventilation double flux avec RC : 26'000 CHF
 - ou*
 - Ventilation simple flux : 5'000 CHF

Comparaison avec coûts réels

	Modèle RenovE	Coûts réels	Différence %
Façades	56'000 CHF	48'000 CHF	17%
Toiture	43'000 CHF	47'000 CHF	9%
Fenêtres	17'000 CHF	18'000 CHF	6%
Sol vers non-chauffé	7'000 CHF	6'700 CHF	4%
Total	123'000 CHF	119'700 CHF	3%

Les différences entre le modèle de coûts renovE et les coûts réels sont dans la cible (25% d'erreur).

La différence plus grande au niveau de la façade s'explique par le fait qu'une partie des travaux (entre autre peinture) a été effectuée par le propriétaire – si l'on modifie le modèle pour tenir compte de ce point, la différence n'est plus que 9% au lieu de 17%.

Variantes de rénovations



	Coûts [CHF]	kWh économisés
Minergie	149'000	20'900
Toiture	43'000	3'900
Plancher	7'000	6'700
Façades	56'000	6'800
Fenêtres	17'000	1'300

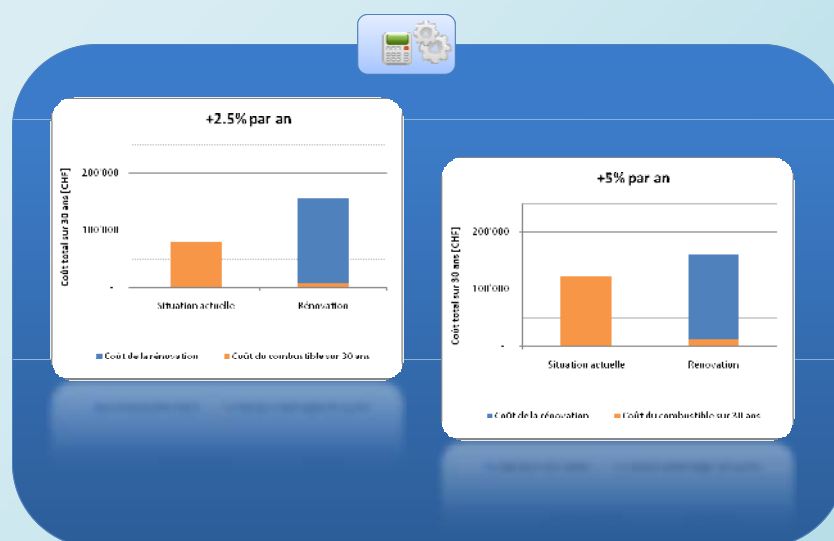
Présentation des résultats

La présentation des résultats tient compte de :

- L'amélioration du confort
- Des francs économisés
- De l'état actuel des éléments à rénover
- De l'évolution du coût de l'indice de construction et du prix de l'énergie

Une simple présentation sous forme de prix du kWh économisé ou du nombre d'années d'amortissement ne serait pas raisonnable

Présentation des résultats – exemple du coût énergétique total sur 30 ans avec variation du prix de l'énergie

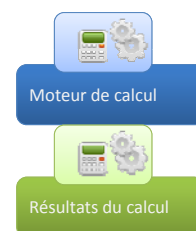


Questionnaire RenovE

Test Immeuble « Waser »

Introduction

- Cet exemple à pour but d'illustrer le flux d'exécution du questionnaire par un exemple réel.
- Les questions posées à l'utilisateur sont écrites en noir, les réponses en orange.
 - Question?
 - -> Réponse!
- Les réponses seront sélectionnées dans une liste déroulante ou directement saisies au clavier (valeurs numériques)
- Les bulles bleues symbolisent le traitement des données et les raisonnements effectués par le logiciel
- Les bulles vertes indiquent les données qui seront transmises au module « coût »



Introduction 2

- Code de couleur des diapositives:
 - Vert = zone du questionnaire commune à tous les types de bâtiment
 - Violet = zone adaptée au type de bâtiment (simple, complexe)
 - Bleu = questions supplémentaires en cas d'erreur trop importante
 - Turquoise = Aspect économique
- Les interactions avec l'interface (lorsque l'utilisateur clique) sont symbolisées par une pastille localisant l'endroit du clic et une bulle indiquant la chronologie des clics.



Description du bâtiment

- Immeuble collectif
- SRE = 531 m²
- 4 étages
- Pas de sous sol enterré
- Construction en 2002
- Isolation extérieure crépie
- Localisation à Veyras (Sierre)
- Horizon très dégagé, exposition plein sud
- Longueur de balcon très importante
- Chauffage au mazout
- 6 habitants
- Consommation globale: 50'000 kWh par an

Situation du bâtiment

- Année de construction ?
 - > 2002
- Situation, Emplacement ?
 - > Veyras, Sierre
- horizon ?
 - > dégagé
- Type de logement ?
 - > Collectif
- Nombre d'habitants ?
 - > 6



Station météo : SION

ligne d'horizon à 10°C

Eel = 80MJ /m2

Qww = 75 MJ/m2

...

Qp = 70 x 6 = 420 W

Description physique du bâtiment

- Nombre de niveaux présentant des pièces chauffées?
 - 4
- La surface de plancher chauffée est-elle identique pour chaque niveau?
 - NON
- Caractéristique de la toiture ?
 - Toiture inclinée sans comble ni galeta
- Type de plancher ?
 - Plancher vers terrain (sans sous-sol)



Questionnaire de type 3 ou 4 requis

Pas de contact vers non chauffé au dernier niveau

Sol contre terrain

Description physique du bâtiment

- Des murs « chauffés » sont-ils en contact avec un ou plusieurs éléments suivants:
 - Avec des locaux non chauffés (caves, garages, corridors non chauffés, galetas...)
 - OUI
 - Avec le terrain
 - NON
 - Avec un bâtiment mitoyen chauffé (villa jumelée, immeuble mitoyen,...)
 - NON
 - Avec un bâtiment mitoyen non chauffé (grange, dépôt, garage...)
 - NON

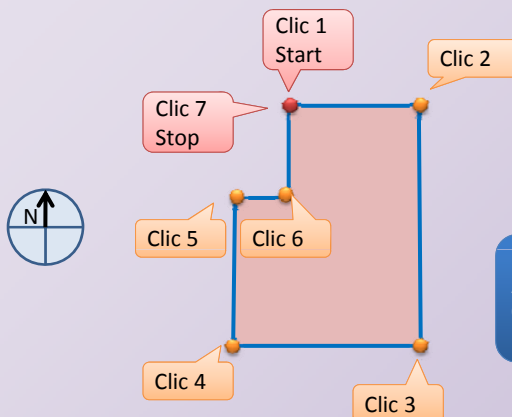


On sait que la bâtiment n'a pas de combles, par déduction, il s'agit de locaux non chauffés au niveau 0

Boîte à outils « contacts » simplifiée: pas de contact vers terrain ou vers chauffé, uniquement contacts vers non-chauffés

Description géométrique du volume chauffé : niveau 0

- Outil de dessin « poser des points » pour construire la surface chauffée
- Orientation du bâtiment à l'aide de la rose des vents



Hauteur de l'étage ?
-> 2.5 m

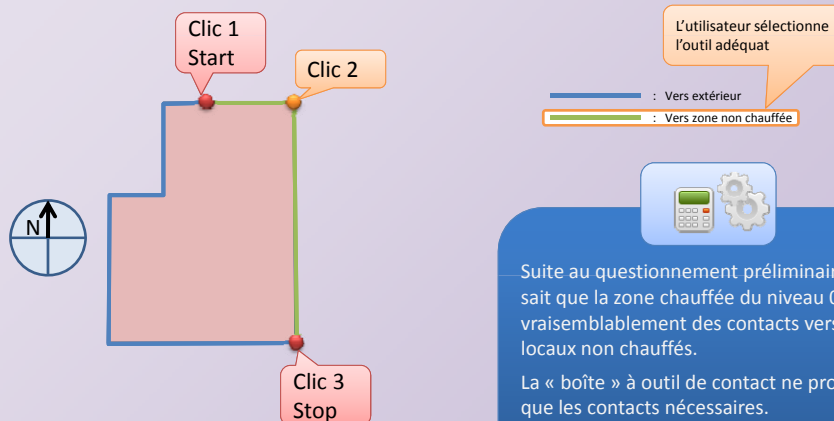
Nombre d'étages identiques ?
-> 0



Aucun autre étage n'est identique au niveau 0, le niveau 1 devra être décrit entièrement.

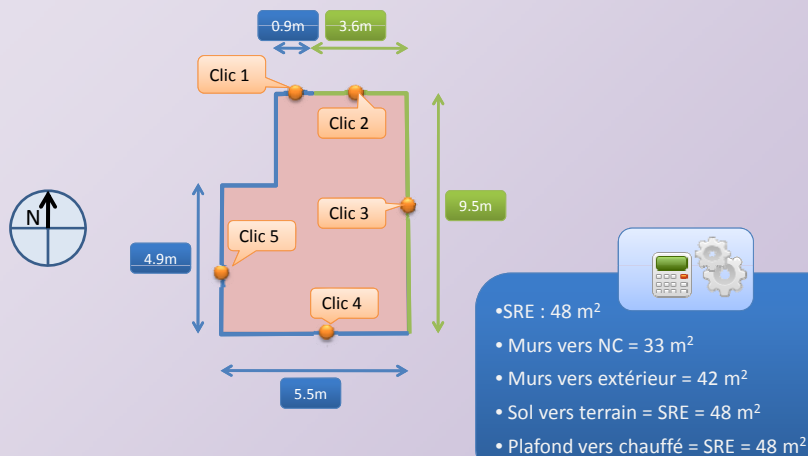
Indication des différents type de contacts : niveau 0

- Avec l'outil « type de contact, définition des différentes zones de contact :



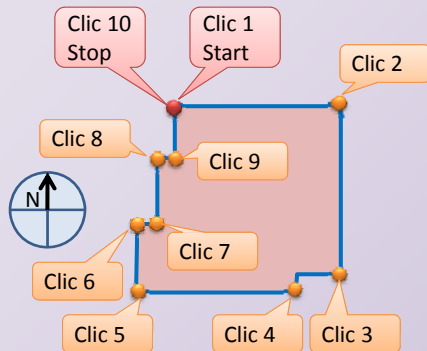
Indication des dimensions : niveau 0

- Avec l'outil « cotation », on clique sur un segment puis on saisit immédiatement la dimension désirée.



Description géométrique volume chauffé : niveau 1

- Outil de dessin « poser des points » pour construire la surface chauffée
- Orientation du bâtiment à l'aide de la rose des vents



Hauteur de l'étage ?

-> 2.5 m

Nombre d'étages identiques ?

-> 3



Les niveaux 2, 3 et 4 sont identiques au niveau 1. Leurs propriétés seront automatiquement dupliquées.

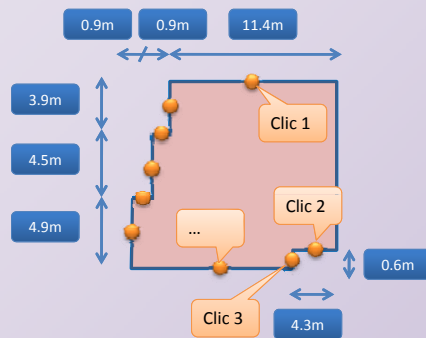
Indication des différents type de contacts : niveau 1



Suite au questionnaire préliminaire, on sait que la zone chauffée du niveau 1 est exclusivement en contact avec l'air extérieur. Cette étape n'est pas visible par l'utilisateur

Indication des dimensions : niveau 1

- Avec l'outil « cotation », on clique sur un segment puis on saisit immédiatement la dimension désirée .



SRE 1^{ère} étage > SRE 1^{er} étage
 -> SRE vers chauffé = SRE 1^{er}
 -> SRE restante vers non chauffé

- SRE : 161 m²
- Murs vers extérieur = 132 m²
- Sol vers chauffé = 48 m²
- Sol vers non chauffé = 113 m²
- Plafond vers chauffé = SRE

« Copier – Coller » des niveaux 2, 3 et 4



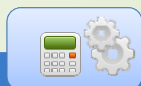
Le niveau 4 étant sous une toiture inclinée, il convient de prendre en compte la surface de toiture dans l'enveloppe thermique. La surface de toiture est déterminée à l'aide de paramètres suivants:

- SRE du dernier niveau
- Angle d'inclinaison (valeur standard à 25°)

De plus, la surface des façades du niveau 1 va dépendre de la hauteur de la sablière par rapport à la dalle. Le point suivant questionne l'utilisateur quant à la position des façades pignons et de la hauteur minimale sous toiture.



Bilan des surfaces



SRE : 531 m²

Murs

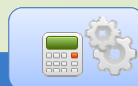
Vers extérieur = 438 m²
Vers non chauffé = 33 m²

Plancher

Vers terrain = 48 m²
Vers non chauffé = 116 m²

Toiture

Vers extérieur = 175 m²



Surfaces façades vers ext.

- NORD = 103 m²
- EST = 100 m²
- OUEST = 124 m²
- SUD = 112 m²

Qualité de l'enveloppe

- Si l'utilisateur ne sait pas quelle technique ou quelle épaisseur d'isolation ont été utilisées, le logiciel attribue automatiquement des valeurs par défaut déterminées selon l'âge du bâtiment
- Toiture
 - Épaisseur d'isolation connue?
 - OUI : 14 cm
 - Technique d'isolation: est-ce que les chevrons de la toiture sont visibles au dernier niveau?
 - OUI
- Murs extérieurs
 - Épaisseur d'isolation connue?
 - OUI : 10 cm
 - Technique d'isolation: s'agit-il d'une isolation extérieure (périphérique)?
 - OUI



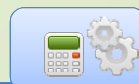
Isolation sur chevron



Pas de ponts thermique en tête de dalle
Pas de ponts thermique aux cloisons intérieures

Qualité de l'enveloppe (suite)

- Murs vers non chauffé:
 - Épaisseur d'isolation connue?
 - OUI : 0 cm
- Plancher vers terrain
 - Épaisseur d'isolation connue?
 - NON
- Plancher vers non chauffé
 - Épaisseur d'isolation connue?
 - NON
- Qualité des fenêtres
 - La majorité de fenêtres ont-elles été remplacée?
 - NON



Mur standard: plots ciment + plâtre

valeur par défaut (2002) :
4cm d'isolation sous chape

valeur par défaut (2002) :
4cm d'isolation sous chape

valeur par défaut (2002) :
Uvitre = 1.7 W/m²K
Ucadre = 2.0 W/m²K

Type et surface de fenêtres

- Sélection du type de fenêtre dans une base de données proposé par le logiciel (fenêtre 2 battants, porte vitrée, ...)
- Chaque type de fenêtre possède des dimensions par défaut, modifiables par l'utilisateur.
- La qualité thermique de la fenêtre est déterminée par défaut en fonction de l'âge du bâtiment. L'utilisateur peut toutefois spécifier manuellement l'âge ou la qualité du vitrage / cadre dans la fenêtre d'édition
- L'utilisateur doit indiquer le nombre de fenêtres de chaque type pour chaque façade.
- La façade en cours d'édition et représentée en rouge sur la miniature du bâtiment

Choix du type de fenêtre dans une palette

Portes vitrées à 2 battants

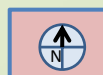
Nombre d'éléments :
→ 1

Qualité de l'élément :
→ 2002

Dimensions :
→ Largeur : 2 m
→ Hauteur : 2 m

OK

L'utilisateur peut modifier les dimensions par défaut



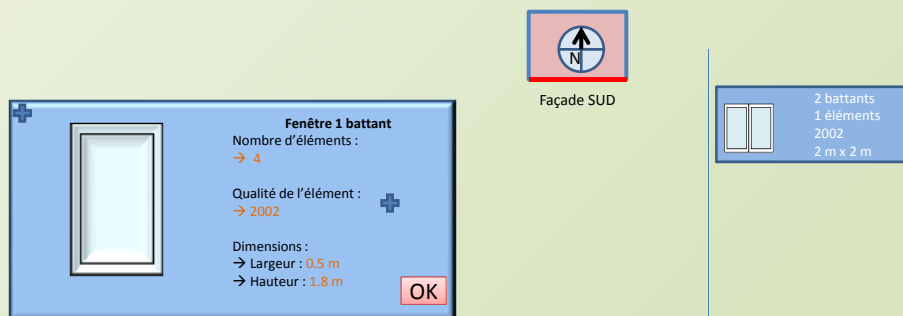
Façade SUD

L'utilisateur peut préciser la qualité de la fenêtre

Clic pour valider

Type et surface de fenêtres

- Le nombre et le type de fenêtre validé s'affiche à droite.
- L'utilisateur valide autant de fenêtre que nécessaire



Masses de stockage



Bilan des masses de stockage :

Chape ciment:
Surface = SRE ; Épaisseur = 8cm

Dalle béton:
Surface = SRE niveau 1, 2 et 3 ; Épaisseur = 16 cm

Murs extérieurs plot ciment:
Surface = $S_{\text{façade}} - S_{\text{fenêtres}}$; Épaisseur = 20 cm

Installations techniques

- De quelle nature est l'installation de production de chaleur (chaudière à gaz, pompe à chaleur, bois, ...)
 - Chaudière à mazout
- Production d'eau chaude avec la même installation?
 - OUI
- La chaudière a-t-elle été renouvelée depuis la construction du bâtiment?
 - NON
- Quelle est (en moyenne) la consommation annuelle de mazout des 3 dernières années?
 - >5'000 litres



Rendements installations chauffage :

Chauffage : 0.85

ECS : 0.80

Consommation d'énergie ECS :

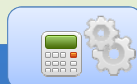
$6 \times 833 / 0.8 = 6'247.5 \text{ kWh}$

Calcul Qh :

$(50'000 - 6'247.5) \times 0.85 = 37'190 \text{ kWh/an}$

$Qh = 37'190 \times 3.6 / \text{SRE} = 252 \text{ MJ/m}^2.\text{an}$

Calcul via bSol



Résultats :

Calcul : 189.8 MJ/m².an

Réalité : 252 MJ/m².an

Ecart : - 24.7 % → **Erreur trop importante.**

Modèle standard lacunaire, questions supplémentaires nécessaires

Questions supplémentaires

- Quelle est la température intérieure en hiver?

— > 21°C

- Possédez vous des balcons ?

— > Oui

- Sur quelle longueur ?

— > 100 m



$Q_h = 210 \text{ MJ/m}^2$

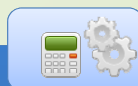
Écart encore trop important.

Questions supplémentaires requises

$\Psi = 1 \text{ W/m.K}$; $L = 100 \text{ m}$

Déperditions supplémentaires =
100W/K

Calcul via bSol



Résultats :

Calcul : 272 MJ/m².an

Réalité : 252 MJ/m².an

Ecart : +8.2% → **Erreur acceptable, bilan jugé
crédible**

Variantes de rénovations (partie 1)



A présent, le modèle du bâtiment fonctionne de manière satisfaisante.

Chaque élément de façade va être évalué de manière indépendante. La qualité isolante de ces différentes parties va être améliorée avec comme objectifs des valeurs d'isolation dignes d'un label « Minergie »

Potentiel d'économie d'énergie en rénovant chaque élément de manière indépendante:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Ventilation mécanique double-flux avec récupération de chaleur ($\eta=80\%$) | Économie annuelle nette : 8360 kWh |
| 2. Isolation périphérique des façades ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 5900 kWh |
| 3. Isolation du plancher du niveau 1 vers les pièces non chauffées ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 4200 kWh |
| 4. Remplacement de toutes les fenêtres (vitrages + cadres) ($U_g=1.1$, $U_f=1.4$) | Économie annuelle nette : 4160 kWh |
| 5. Isolation des cloisons du niveau 0 vers les pièces non chauffées ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 2600 kWh |
| 6. Isolation de la toiture sur chevron ($U=0.15$) | Économie annuelle nette : 1960 kWh |

Variantes de rénovations (partie 2)



En plus des cinq variantes précédentes, les 3 propositions les plus performantes sont mixées pour produire 4 scénarios de rénovations.

Un cinquième scénario dénommé « Minergie » est proposé, il regroupe toutes les variantes de rénovation de l'enveloppe y.c. une ventilation double flux avec récupération de chaleur.

Mix des trois variantes les plus efficaces:

- | | |
|------------|--------------------------------------|
| 1+2 : | Économie annuelle nette : 14'000 kWh |
| 2+3 : | Économie annuelle nette : 12'400 kWh |
| 1+3 : | Économie annuelle nette : 9'500 kWh |
| 1+2+3 : | Économie annuelle nette : 18'100 kWh |
| Minergie : | Économie annuelle nette : 26'300 kWh |

Récapitulation des données nécessaires à l'établissement d'un budget rénovation



Sol contre terrain	48m ²	U= 0.78	Isolation sous chape
Sol contre non chauffé	116m ²	U= 0.71	Isolation sous chape
Cloisons contre non chauffé	33m ²	U= 1.8	-
Cloisons vers extérieur	440m ²	U= 0.34	Isolation extérieure, crépissage
Toiture inclinée	233m ²	U= 0.27	Isolation sur chevron
Fenêtres		U= 1.7	
Cadre PVC blanc		U= 2.0	

	Surface	nbr	long. embrasure	largeur (tablette / store)
Petites fenêtres	< 0.5 m ²	0 x	0 m	Ym
Fenêtre moyennes	< 1.0 m ²	11x	4.6 m	0.5 m
Grandes fenêtres	> 1.0 m ²	20x	9 m	2.5 m

Calcul des coûts de rénovation



Rénovation globale : cible « Minergie rénovation »

- Amélioration de l'enveloppe :
 - Toiture ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 40'000 CHF
 - Plancher vers non chauffé ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 3'000 CHF
 - Façades ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 84'000 CHF
 - Murs contre non-chauffé ($U_{new}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) : 9'000 CHF
 - Fenêtres : 84'000 CHF
- Installation de ventilation:
 - Ventilation double flux avec RC : 64'000 CHF

Comparaison avec coûts déterminés sur la base d'un audit détaillé

	Modèle RenovE	Coûts « Enercité »	Différence %
Façades	84'000 CHF	88'000 CHF	5%
Toiture	40'000 CHF	37'000 CHF	8%
Fenêtres	84'000 CHF	82'000 CHF	3%
Sol vers non-chauffé	3'000 CHF	2'800 CHF	7%
Murs contre non-chauffé	9000 CHF	12'000 CHF	25%
Ventilation double flux	64'000 CHF	62'000 CHF	3%
Total	284'000 CHF	283'800 CHF	

Variantes de rénovations



	Coûts	kWh économisés
Minergie	284'000 CHF	26'300 kWh
Plancher	3'000 CHF	4'200 kWh
Façades	84'000 CHF	5'900 kWh
Fenêtres	84'000 CHF	4'160 kWh

Les résultats montrent que les gains en kWh ne sont pas considérables à la vue des l'investissement financier ce qui est tout à fait correct étant donné que ce bâtiment date de 2002.