

**Carine Château
Olivia Robin
Chloé Zazzaron**

Avril 2007

Energétique du Bâtiment

**Etude de la réhabilitation énergétique
d'une maison individuelle**

**Promotion : A
Groupe : 4**

Sommaire

Introduction

1. Présentation du projet:

1.1 *Présentation rapide de la RT 2005*

1.2 *Nos démarches et hypothèses*

2. Evaluation de la performance énergétique de la maison:

2.1 *Calcul de U_{bat}*

2.2 *Etablissement du tableau récapitulatif des besoins en chauffage*

2.3 *Evaluation de l'impact des solutions techniques*

3. Elaboration d'un programme de réhabilitation énergétique de la maison:

3.1 *Etudes des différentes solutions*

3.2 *Programme de réhabilitation retenu*

Conclusion

Annexe

Introduction:

Le but de ce projet d'énergétique du bâtiment est double. Il s'agit dans un premier temps d'évaluer la performance énergétique d'une maison individuelle pour la comparer à la réglementation thermique RT 2005. Dans un second temps, l'étude propose de développer un programme de réhabilitation énergétique de cette maison. Il importe de définir une stratégie pour répondre au mieux à la RT 2005 en prenant en compte l'aspect économique.

1. Présentation du projet:

1.1. Présentation rapide de la RT 2005:

Les pouvoirs publics se sont engagés en terme d'énergétique à "réactualiser" les exigences réglementaires tous les 5 ans : après la RT 2000 voici donc la RT 2005 ! La maîtrise des consommations d'énergie, la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont les objectifs visés par la France comme par l'ensemble de la communauté internationale pour **préserver les ressources énergétiques** et **limiter le réchauffement climatique**.

La RT 2005 s'adresse aux **constructions neuves** (ou extensions de constructions) des bâtiments résidentiels et non résidentiels (tertiaires, bâtiments industriels ...) et est applicable à toutes les constructions neuves dont le permis de construire a été déposé à partir du 1er septembre 2006.

La RT 2005 **fixe une limite de consommation énergétique** de référence (appelé $Cep_{réf}$) à ne pas dépasser. Pour respecter cette exigence, la RT 2005 détermine des "repères" qui sont des niveaux de référence pour tous les matériaux relatifs au bâti et pour les équipements. Elle prend en compte explicitement les déperditions des ponts thermiques. Pour justifier du respect de l'exigence réglementaire, il faut **obligatoirement** vérifier les **3 modalités** suivantes :

- limiter les **consommations** énergétiques : **Coefficient Cep** du projet inférieur au "droit à consommer" ou coefficient Cep de référence

$$Cep \leq "Cep_{réf}" \text{ (en kWh/m}^2\text{.K)}$$

-s'assurer du respect des exigences minimales pour les éléments intervenant dans le bilan énergétique, notamment Cep_{max} et $Ubât_{max}$

- limiter l'inconfort en été : température intérieure conventionnelle Tic inférieure à la **température intérieure** conventionnelle de référence

$$Tic \leq "Tic_{réf}" \text{ (en } ^\circ\text{C)}$$

Les exigences à respecter d'hiver comme d'été **dépendent de la zone climatique** où se situe le projet, soit 8 zones au total combinant températures extérieures et ensoleillement et correspondants à des limites de départements. Cette réglementation permet donc de définir les caractéristiques thermiques minimales du bâtiment et la consommation conventionnelle d'énergie. Elle met en valeur la volonté d'**augmenter le rendement thermique des bâtiments** dans le souci de **diminuer la consommation énergétique** (à terme elle devrait être divisée par 4) et d'**améliorer le confort**.

1.2 Nos démarches et hypothèses:

Démarche:

La consommation de référence $Cep_{réf}$ ou "**droit à consommer**" prend en compte les consommations de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'éclairage, d'auxiliaires, de refroidissement et ventilateurs. La performance énergétique d'un bâtiment étant principalement liée au niveau d'isolation du bâti et à l'efficacité des équipements **nous nous contenterons dans ce projet de regarder le coefficient $U_{bât}$ et les consommations de chauffage**. Passage obligé dans le calcul du $Cep_{réf}$, le niveau global de déperdition $U_{bât,réf}$ de l'enveloppe du bâtiment permet de définir la qualité de l'isolation thermique d'un projet. Le coefficient $U_{bât}$ (**exprimé en $W/m^2.K$**) représente **un coefficient de déperdition moyen du bâtiment** :

-Déperditions par les parois (murs, planchers, toitures, baies).

-Déperditions par les liaisons (ponts thermiques des planchers, refends ...).

$U_{bât,réf}$ est calculé avec les exigences de référence de ces parois et liaisons. **Pour respecter la RT 2005 le $U_{bât}$ calculé ne doit pas dépasser de 30% le $U_{bât,réf}$.**

Hypothèses:

La maison support de l'étude est une résidence de **quatre étages** à base rectangulaire, dont **on chauffe uniquement les 3ème et 4ème étages** (le 4ème étant sous des combles non chauffés). La maison comporte des ouvertures sur toutes les façades sauf à l'est. Nous avons choisi de la situer dans la **zone climatique H2**. Les données météorologiques de la zone d'étude sont rassemblées dans un tableau du le cours et nous avons redonné en annexe celle qui nous ont été utiles pour nos calculs.

Un plan sommaire des différents étages ainsi que les caractéristiques des parois opaques et vitrées permettent de décrire la maison : espace intérieur, dimensions des pièces, caractéristiques des ouvertures, des parois, des planchers... **Nous y avons apporté des modifications concernant les ouvertures car le tableau des caractéristiques ne correspondait pas au plan de la maison**. C'est avec ces informations que nous allons pouvoir définir les pertes (pertes par déperdition et pertes par renouvellement d'air) et les gains (gains internes et solaires) du bâtiment. Il sera alors possible de déterminer les besoins en chauffage et donc la consommation d'énergie : électricité ou gaz selon le cas.

La modification ou le remplacement des éléments où se réalisent les pertes par déperdition nous permettra ensuite de redéfinir ce besoin en chauffage et de le comparer une nouvelle fois à la réglementation pour en évaluer sa performance.

A retenir:

**Hausse du niveau d'isolation
=> Diminution du coefficient $U_{bât}$ => Diminution de la consommation
d'énergie
=> Diminution du coefficient Cep**

2. Evaluation des performances énergétiques de la maison

Il s'agit d'expliquer les méthodes, les formules que nous avons utilisées ainsi que les choix que nous avons effectués pour évaluer les performances énergétiques de notre bâtiment.

2.1. Calcul de $U_{bât}$

On considère que seuls les étages 3 et 4 sont habités : les étages 1 et 2 ainsi que les combles sont donc des locaux non chauffés. On néglige les échanges entre les étages 3 et 4 car ces deux étages sont chauffés à la même température.

A partir des données, on calcule les valeurs du **coefficient de déperdition U** (en $W/m^2.K$) correspondant aux différentes parois (mur, sol, plafond) en contact avec l'extérieur ou locaux non chauffés.

$$U = 1/R \text{ et } R = \sum e_i/\lambda_i + R_{conv}$$

- R est la résistance thermique (en $m^2.K/W$)
- λ_i est la conductivité du matériau i (en $W/K.m$)
- e_i est son épaisseur (en m)
- R_{conv} est le coefficient traduisant la résistance thermique associée à la convection. Il ne dépend que de la direction et du sens des échanges thermiques:

Sens de l'échange	R_{si}	R_{se}	R_{conv}
Intérieur vers extérieur	0,13	0,04	0,17
Pièce vers combles	0,10	0,04	0,14
Pièce vers sous-sol	0,17	0,04	0,21

La valeur de U pour les fenêtres est $2,5 W/m^2.K$ car c'est du double vitrage.

Il faut calculer les différentes surfaces intérieures A_i des parois, ouvertures, du plafond et du sol où ont lieu les déperditions.

Ceci nous permet de **calculer** $U_{bât}$ par:

$$U_{bât} = (\sum U_i * b_i * A_i + 0,15 * \sum U_i * b_i * A_i) / A_T$$

- A_i est la surface de l'élément
- U_i son coefficient de déperdition
- A_T la somme des A_i
- b_i un coefficient dépendant de la nature de l'échange thermique
 - $b=1$ si l'échange se fait avec l'extérieur
 - $b=0,6$ avec les locaux non chauffés
 - $b=0,3$ pour le sol

Le premier terme du numérateur représente les **déperditions par les parois** et le deuxième est une approximation des **déperditions par ponts thermiques (on suppose que les pertes liées aux ponts thermiques représentent 15% des pertes surfaciques)**.

Nous Obtenons comme résultat

$$U_{bât}=1,35$$

Il faut comparer ce résultat au $U_{réf}$ calculé conformément à la RT 2005.

$$U_{réf}=0,57$$

Pour se rapprocher de la RT 2005, on doit avoir :

$$U_{bât} < 1,30 U_{réf} \quad \text{soit } U_{bât} < 0,74$$

Notre $U_{bât}$ n'est pas inférieur à cette valeur : nous voyons à ce stade que **des travaux de réhabilitation seront nécessaires.**

2.2. Etablissement du tableau récapitulatif des besoins en chauffage

On peut maintenant calculer les pertes thermiques pour le bâtiment à l'aide de la formule:

$$H = H_T + H_v$$

- H : pertes totales
- H_T : pertes vers l'extérieur et locaux non chauffés
- H_v : pertes dues au renouvellement d'air

On calcule les pertes dues aux échanges thermiques à travers les parois par la formule :

$$H_T = U_{bât} * A_T$$

On calcule les pertes dues au renouvellement d'air par la relation :

$$H_v = 0,34 * R_{air} * V (\text{chauffé})$$

L'ouverture des fenêtres et la mauvaise étanchéité de la façade conduisent à considérer $R_{air}=1,3$ vol/h.

$V(\text{chauffé})$ représente le volume chauffé c'est à dire le volume habitable (soit le volume cumulé des étages 3 et 4).

A ce stade on peut remplir le tableau récapitulatif des besoins en chauffage saisonniers.

$$Ql = H * (T_{int} - T_{ext}) * 24 * N_{bj} / 1000 \quad (kWh)$$

$$Qi = 4 * A_{bat} * 24 * N_{bj} / 1000 \quad (kWh)$$

$$Qs = (I_s * A_s + I_n * A_n + I_o * A_o) * 24 * N_{bj} / 1000 \quad (kWh)$$

$$Qg = Qi + Qs$$

$$\gamma = Qg / Ql$$

$$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 + \gamma^{a+1})$$

$$T_{sc} = T_{ext} + Qg / H * 1000 / (24 * N_{bj}) \quad (C^\circ)$$

$$Qh = (Ql - \eta * Qg) * N_{bj} (\text{chauffé}) / N_{bj} (\text{mois}) \quad (kWh)$$

- N_{bj} représente le nombre de jours du mois considéré. $N_{bj}(\text{chauffé})$ vaut N_{bj} les mois où l'on chauffe tous les jours, $N_{bj}=15$ quand on chauffe le demi mois, et 0 lorsqu'on ne chauffe pas.
- Ql représente les **pertes thermiques** en kWh par mois. **On choisit de chauffer le bâtiment**

à 18°C , qui est généralement prise comme température de consigne intérieure. Lorsque la température extérieure est supérieure à 18°C , il n'y a pas de pertes mais des gains. Q_l vaut alors 0 et ne prend jamais de valeurs négatives.

- Q_i représente les **gains en énergie** réalisés à l'intérieur du bâtiment en kWh par mois, c'est donc l'apport énergétique mensuel du chauffage.
- Q_s représente les **gains en énergie** réalisés grâce au soleil **à travers les surfaces vitrées** (I_s est l'ensoleillement sud et A_s la surface vitrées coté sud... Il n'intervient pas ici car il n'y a pas de fenêtres à l'est) en kWh en 1 mois.
- Q_g représente donc le **gain total en énergie**, ce qui constitue autant d'énergie en moins à fournir pour chauffer le bâtiment.
- γ représente le **rapport des gains sur les pertes** et η est le **facteur d'utilisation**. γ n'est donc pas défini les mois où on ne chauffe pas car les pertes sont nulles dans ce cas. Il en est de même pour η .
- T_{sc} est la température sans chauffage. C'est la température que l'on a à l'intérieur du bâtiment en absence de chauffage. Cette température tient compte à la fois des gains internes et solaires, et des pertes thermiques. Elle s'exprime en $^{\circ}\text{C}$.
- Enfin, on peut calculer Q_h , l'**énergie nécessaire pour chauffer le bâtiment au moins à 18°C** toute l'année en kWh par mois. Lorsque la température sans chauffage est supérieure à la température extérieure on ne chauffe pas, Q_h vaut alors 0 et ne prend jamais de valeurs négatives.

3. Réhabilitation énergétique du bâtiment

Comme nous l'avons vu, ce bâtiment nécessite une réhabilitation pour être conforme à la RT 2005. Nous allons donc **analyser différentes solutions techniques** afin d'améliorer les performances énergétiques de cette construction.

Puis nous proposerons une (ou plusieurs) **solution de réhabilitation** en tenant compte de la **rentabilité et du coût financier** des améliorations proposées.

3.1. Impacts des solutions techniques:

Hypothèses:

On s'intéresse maintenant aux solutions techniques qui nous sont proposées. On recouvre les parois d'isolant, ainsi les surfaces d'isolant utilisées seront toujours égales à la superficie de la paroi concernée (on ne tient bien sûr pas compte des surfaces des baies vitrées!). **Nous négligeons les modifications des surfaces intérieures dues à l'épaisseur des isolants.** Nous n'aurons pas à modifier nos ouvertures car elles sont déjà toutes en double vitrage.

Lors du rajout d'un isolant, on recalcule le U correspondant à la paroi, ce qui nous donne le nouveau $U_{\text{bât}}$ et on obtient immédiatement la nouvelle consommation énergétique annuelle Q_h .

Pour la reprise de l'étanchéité de la façade et l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée, on modifie R_{air} donc H_v .

L'installation d'un **programmateur** d'intermittence pour l'optimisation de la gestion du système de chauffage permet de ne pas chauffer en continu: Pour une personne qui travaille la semaine et qui reste chez elle le week-end nous considérons que la **consommation énergétique mensuelle est divisée par 2.**

Nous regardons d'abord si la rénovation s'approche bien de la RT 2005 en comparant $U_{\text{bât}}$ à $U_{\text{réf}}$. Dans le cas contraire nous l'éliminons.

Il reste à nous intéresser à la **rentabilité** de la rénovation. Pour cela on calcule le **temps de retour sur investissement**. C'est la période au terme de laquelle la somme cumulée des gains financiers générés par le projet est égale à l'investissement initial. L'investissement se calcule par le coût de l'installation (isolants, programmateur etc...). Le gain annuel correspond à la différence entre la consommation initiale et la consommation après travaux, multipliée par le coût de l'énergie. On étudie **2 types de solutions : chauffage au gaz et à l'électricité**. Le temps de retour sur investissement se calcule par:

$$T_r = \frac{\text{Investissement}}{\text{Gains Annuels}}$$

Une solution dont le T_r est **supérieur à 9 ans ne pourra être retenue** eu égard aux délais de garantie et aux durées de vie moyennes de certains matériels.

Parmi les solutions retenues notre choix tiendra compte des **coûts de chauffage annuels les moins élevés à long terme** (c'est-à-dire après avoir rentabilisé l'installation).

3. Etude des différentes solutions

*On effectue les calculs en évaluant l'impact individuel de chaque amélioration sur le $U_{\text{bât}}$ et sur le temps de retour sur investissement dans le cas d'un chauffage au gaz ou à l'électricité. Pour cela, nous avons évalué **l'influence de chaque solution technique proposée individuellement puis nous avons corrélé des solutions réalisables en même temps.***

Nous répertorions ici les différentes solutions, notées de 1 à 10 (sans 9!).

1. Isolation des murs verticaux par doublage intérieur avec 8 cm de polystyrène

$U_{\text{bât}}$ atteint 0,61 au lieu de 1,35. Le temps de retour sur investissement est de 4 ans pour le gaz et l'électricité ce qui est raisonnable. Le coût du chauffage est diminué de quasiment 50% par rapport au coût initial. Une telle solution est **à retenir** dans le programme de réhabilitation.

2. Isolation des murs verticaux par doublage intérieur avec 15 cm de polystyrène

C'est la même solution technique que précédemment sauf que le matériau isolant est plus épais. On obtient un temps de retour sur investissement de 5 ans pour le gaz et de 4 ans pour l'électricité, bien que les performances du matériau soient meilleures mais ceci est dû au coût élevé de l'installation. Néanmoins on obtient une diminution des prix meilleure que pour un doublage de 8cm, car elle est de 53%. Cette solution est donc tout de même intéressante et **nous la retenons**.

3. Isolation extérieure des murs verticaux

Cette solution est assez intéressante car l'isolation extérieure est très confortable pour l'habitant et elle ne réduit pas l'espace intérieur. Cependant le coût de l'installation est très élevé (+ de 10 000 €) et la rentabilité atteint 9 à 11 ans. Bien que le taux de diminution du coût de chauffage atteint 50%, **on ne retient pas** cette solution car trop coûteuse et ayant un T_r trop important.

4. Isolation des murs du garage

Le garage est considéré dans notre étude comme une pièce non chauffée. Il n'intervient donc pas dans le calcul de $U_{\text{bât}}$; nous n'avons donc **pas retenu** cette solution car nous ne savons pas comment l'intégrer dans nos calculs d'isolation.

5. Isolation du plancher sur garage par 10cm de polystyrène

Le plancher est le plancher du niveau 3. Nous n'avons **pas retenu cette solution seule** car son $U_{\text{bât}}=1,19$ et n'est donc pas convenable du point de vue de la RT 2005.

6. Isolation du plafond sous combles par 15cm de laine de verre

Nous n'avons **pas retenu** cette solution car le $U_{\text{bât}}=1,32$ ne correspond pas aux attentes de la RT 2005.

7. Changement des vitres par des doubles vitrages

Nous n'avons pas eu à changer les vitres car elles étaient déjà en double vitrage.

8. Reprise de l'étanchéité de la façade et installation d'une ventilation mécanique contrôlée (R.air=0,5 Vol/h)

Nous ne pouvons **pas retenir cette solution seule** car le U_{bat} ne change pas puisque la modification effectuée n'a d'effets que sur H_v . Néanmoins, le coût de l'installation est raisonnable et il permet de diminuer la consommation d'énergie. Cette solution est particulièrement intéressante lorsqu'elle est corrélée à d'autres offrant un U_{bat} conforme aux exigences de la RT 2005.

10. Installation d'un programmeur d'intermittence pour le système de chauffage

On décide d'installer un programmeur de chauffage. La maison est donc chauffée à 18°C, lorsqu'il y a quelqu'un. Dans notre maison, cette présence est modélisée par un temps de chauffe divisé par deux. Le **résultat est excellent**. En effet, bien qu'il n'y ait aucun impact sur le U_{bat} , l'installation est très bon marché et permet de faire d'énormes gains annuels sur la facture énergétique. Le temps de retour sur investissement est donc très faible : moins d'un mois en moyenne.

Pour les solutions corrélées voir les tableaux des résultats en annexe.

3.2 Réhabilitation retenue

Pour approcher au mieux les exigences de la RT 2005 et respecter un budget acceptable nous avons élaboré un projet de réhabilitation. Pour simplifier la description, **on se base sur un chauffage au gaz**, sachant que le choix optimal est le même en ce qui concerne le chauffage électrique. Les conclusions sont les mêmes car le T_r est proportionnel à U_{bat} .

Le **premier objectif est de respecter le critère** : $U_{\text{bat}} < 1,3U_{\text{ref}}$. Etant donné la valeur de notre U_{ref} , U_{bat} doit absolument être inférieur à la valeur 0,74. Il faut donc réhabiliter pour réduire au mieux le coefficient de déperdition tout en tenant compte du **temps de retour sur investissement, qui sera le second objectif**. Enfin, le **coût du chauffage à long terme** (après avoir rentabilisé l'installation) nous permet de déterminer la solution optimale.

Aux vues de nos critères de sélection, nous avons sélectionné la **solution 1+8+10** qui correspond à une isolation des murs verticaux par **8cm de polystyrène**, une **reprise de l'étanchéité** de la façade avec l'installation d'une **VMC** et l'installation d'un **programmeur**. Cette solution a le plus faible temps de retour sur investissement : 3 ans et un coût d'investissement le plus faible parmi les solutions les plus avantageuses (environ 4200 €). De plus, après avoir rentabilisé l'installation, le coût de chauffage annuel est de 330€ (pour le gaz) ce qui est relativement faible. **Le coût de chauffage est divisé par 6 comparé au coût avant travaux**.

Nous avons aussi retenu la **solution 2+8+10** qui diffère de la précédente par l'épaisseur de l'isolant (**15cm au lieu de 8cm**). Cela réduit les dépenses énergétiques (50€ moins cher que la solution précédente par an) mais le coût d'investissement est plus élevé (1300€ de plus que la solution précédente) et le temps de retour sur investissement également (4 ans au lieu de 3). En revanche, un revêtement de 15 cm diminue plus le volume intérieur de l'habitation.

Enfin nous avons également retenu la solution 1+5+8+10, qui ajoute une isomation du plancher sur garage. Le Ubât est très intéressant (0,35), la rentabilisation se fait en 4 ans et les dépenses de chauffage annuelles sont de 230€ seulement. Mais l'installation est plus chère que les deux autres.

L'utilisateur a donc le choix entre ces trois solutions. Soit il décide d'investir plus au départ, d'attendre un an de plus pour rentabiliser les travaux et payer moins cher sa consommation annuelle ensuite. Soit, il investit un peu moins au départ, rentabilise plus vite mais paye 50 € de plus par an ensuite.

Dans tous les cas, l'installation d'un programmeur et d'une VMC sont indispensables si on veut avoir une optimisation totale.

Conclusion

Etant donnée la montée des prix de l'énergie (gaz, électricité,...) ainsi que l'urgente nécessité environnementale de réduire notre consommation en énergie, quelle qu'elle soit, il est nécessaire d'améliorer le rendement énergétique des bâtiments. La maison étudiée précédemment en est un parfait exemple. Ses dépenses énergétiques sont 6 fois plus grandes avant les travaux qu'après. D'un point de vue financier, il est beaucoup plus avantageux pour le propriétaire d'effectuer des travaux pour se conformer à la RT 2005 que de rester inactif. Cette notion commence à être de plus en plus présente dans les esprits des constructeurs, qui depuis quelques années pratiquent un développement durable « intelligent » en utilisant des matériaux plus performants, mais aussi des propriétaires, que ce soit au sujet des résidences principales que secondaires. Ainsi, un acheteur, et c'est un changement radical, tiendra aujourd'hui compte de façon non épisodique du « diagnostic de performance énergétique » du logement, obligatoire à chaque vente depuis le premier novembre 2006.

Pourtant on a pu démontrer qu'un programme de remise aux normes RT 2005, certes un peu lourd à mettre en œuvre (les travaux sont importants), permet de réduire significativement la consommation d'énergie et donc la facture à payer ! Cette installation a, de plus, l'avantage de se rentabiliser par ses propres économies énergétiques, dans un délai très raisonnable. Le problème de l'investissement initial n'est pas réellement un obstacle compte tenu du faible temps de retour sur investissement d'une part, mais également des possibilités de crédits d'impôt et autres incitations mises en places ces dernières années par les gouvernements.

Après la RT 2000, la RT 2005 a encore été un nouvel échelon dans la volonté de réduire les dépenses énergétiques en imposant à tout nouveau bâtiment de respecter ces normes. Cependant il n'est toujours pas obligatoire de respecter ce décret dans le cas d'une rénovation... Dès lors peu de vieilles bâtisses sont remises aux normes alors que ce sont probablement les plus touchées par ce gaspillage énergétique. Les mentalités n'ont pas encore complètement évolué.