

## *Energétique*

# Etude de réhabilitation énergétique d'une maison individuelle

## Sommaire

|   |     |
|---|-----|
| I – Introduction et présentation du problème .....                    | p3  |
| II – Evaluation de la performance énergétique de la maison .....      | p4  |
| III – Elaboration d'un programma de réhabilitation de la maison ..... | p7  |
| IV – Conclusion .....   | p13 |
| V – Annexes .....   | p14 |

## **I – Introduction et présentation du problème**

A travers cette étude nous nous intéresserons à la réhabilitation énergétique d'une maison construite en 1975, et donc ne respectant pas les normes en matière de consommation énergétique ni en ce qui concerne l'isolation thermique comme c'est le cas de la grande majorité du parc immobilier français à l'heure actuelle. Le cas que nous allons traiter représente en fait les opérations que devront faire le plupart des français sur leur maison dans les années à venir pour respecter les normes actuellement en vigueur sur les constructions neuves.

Nous avons donc choisi de nous placer dans la zone climatique la plus rude en France (climat semi-continental), le but étant de traiter le cas le plus extrême et donc pour lequel les coûts sont les plus importants. D'autre part, il est important de noter que nous avons aussi choisi de chauffer cette maison au chauffage électrique pour la bonne et simple raison que le prix du pétrole ne cessant d'augmenter de manière inquiétante durant ces derniers mois, il sera bientôt plus économique de se chauffer à l'électricité qu'au gaz.

En outre, comme certaines données nous ont parues contradictoires dans les plans de la maison, nous avons donc redessiné les plans du rez-de-chaussée et du premier étage, qui sont donnés en annexe 1 et annexe 2. Nous avons donc utilisé ces nouvelles données pour tous nos calculs (les côtes non indiquées sur les plans sont en réalité inutiles pour les calculs effectués).

Notons enfin que toute cette étude fait référence à la réglementation RT2000, en ce qui concerne les données climatiques, mais aussi pour tout ce que concerne les exigences thermiques et énergétiques du bâtiment étudié.

## II – Evaluation de la performance énergétique de la maison

### 1 – Evaluation de la performance énergétique de la maison

On cherche donc dans cette partie à calculer le coefficient moyen de déperditions thermiques de l'enveloppe  $U_{\text{bât}}$  correspondant à la maison, que l'on va comparer à  $U_{\text{ref}}$  correspondant à la réglementation. Pour cela on calcule le  $U$  de chaque partie de la maison (numérotées dans les annexes 1 et 2) à l'aide des valeurs données par le tableau en annexe 3. Pour cela on utilise la formule :

$$U = \frac{1}{R_{th}} \quad (\text{W/m}^2.\text{K})$$

Pour  $U_{\text{ref}}$  on utilise la formule donnée par la RT2000 qui distingue les différents types de parois, et les différentes zones climatiques. Nous avons réalisé ces calculs à l'aide d'une feuille Excel mise en annexe (annexe 4) .

Ainsi on obtient les  $U_{\text{bât}}$  et  $U_{\text{ref}}$  suivants :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| $U_{\text{bât}}$    | 1,292 |
| $U_{\text{bâtréf}}$ | 0,680 |

D'après la réglementation, on devrait avoir  $U_{\text{bât}} \leq 1,3 \times U_{\text{ref}}$  or on est très loin de ce résultat puisqu'on a presque  $U_{\text{bât}} = 2 \times U_{\text{ref}}$  ce qui signifie qu'une réhabilitation du bâtiment est nécessaire pour obtenir un  $U_{\text{bât}}$  correspondant aux limites imposées par la RT2000.

## 2 – Calcul des apports solaires

Les apports solaires permettent une réduction de la puissance de chauffage, en effet plus il y a de surfaces vitrées plus il y a d'apport solaire (ce qui ne veut pas dire qu'une maison toute vitrée aurait besoin de moins de chauffage qu'une maison sans vitre car les vitres ont un coefficient de déperdition important). Pour ce calcul, on néglige les ombres portées sur les façades. Et d'autre part les impacts des rideaux et des stores sont eux aussi négligés. On prend alors le facteur solaire égale à 0,5.

Pour ce calcul on doit calculer les surfaces équivalentes horizontales, orientées sud, est ouest et nord de baie vitrée. On applique ensuite la formule suivante pour obtenir les gains solaires  $Q_s$  :

$$Q_s = \frac{3}{125} (I_s A_{es} + I_o A_{eo} + I_n A_{en} + I_e A_{ee} + I_h A_{eh}) N_{jours}$$

$A_{es}$  : aire équivalente sud

$A_{eo}$  : aire équivalente ouest

$A_{en}$  : aire équivalente nord

$A_{ee}$  : aire équivalente est

$A_{eh}$  : aire équivalente horizontale

On obtient ainsi :

|                     | Gains solaires $Q_s$ (kWh) |
|---------------------|----------------------------|
| janvier             | 133,31                     |
| février             | 215,31                     |
| mars                | 388,81                     |
| avril               | 435,37                     |
| mai                 | 205,23                     |
| juin                | 615,16                     |
| juillet             | 729,99                     |
| août                | 646,15                     |
| septembre           | 444,99                     |
| octobre             | 267,85                     |
| novembre            | 121,94                     |
| décembre            | 107,42                     |
| saison de chauffage | 1875,23                    |
| total année         | 4311,53                    |

Ce qui nous intéresse ici ce sont les apports durant la saison de chauffage  $Q_{ssc}$  puisqu'ils vont nous permettre de faire des économies d'énergie. On a donc :

$$Q_{ssc} = 1875,23 \text{ kWh}$$

### 3 – Calcul des besoins mensuels de chauffage

On sait que la maison ne dispose pas de système de ventilation mécanique, mais vu les problèmes d'étanchéité, on doit considérer le taux de renouvellement de l'air en période de chauffage de 1,3 vol/h.

Pour calculer les besoins mensuels de chauffage, on a rempli la fiche de calcul proposée en annexe 2 du sujet (nous l'avons mise en annexe 6).

Voici donc le bilan de cette étude de la maison telle qu'elle se trouve à l'origine :

#### **Bilan**

|         |            |
|---------|------------|
| Ubat    | 1,29157637 |
| Ubatréf | 0,6797004  |

|                     | Gains solaires $Q_s$ (kWh) | Besoins chauffage $Q_h$ (kWh) |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|
| janvier             | 133,31                     | 3234,80                       |
| février             | 215,31                     | 2716,01                       |
| mars                | 388,81                     | 2083,81                       |
| avril               | 435,37                     | 1158,12                       |
| mai                 | 205,23                     | 364,52                        |
| juin                | 615,16                     | 0,00                          |
| juillet             | 729,99                     | 0,00                          |
| août                | 646,15                     | 0,00                          |
| septembre           | 444,99                     | 0,00                          |
| octobre             | 267,85                     | 1312,00                       |
| novembre            | 121,94                     | 2814,70                       |
| décembre            | 107,42                     | 3208,37                       |
| saison de chauffage | 1875,23                    | 16892,34                      |
| total année         | 4311,53                    | 16892,34                      |

La principale remarque que l'on peut faire c'est que cette maison n'est pas du tout économique en énergie, puisque la consommation annuelle en énergie de celle-ci est de 16892,34 kWh soit 1351,39 € par an, d'où la nécessité d'une réhabilitation énergétique de cette maison.

### **III – Elaboration d'un programme de réhabilitation énergétique de la maison**

La réhabilitation de la maison peut se faire de différentes manières suivant les moyens du propriétaire, ses objectifs à plus ou moins long terme. Nous traiterons différents cas, le premier concernant la solution respectant la norme qui est rentable le plus rapidement, puis nous verrons ensuite la solution pour laquelle on obtient un  $U_{\text{bât}}$  minimal qui soit rentable en dix ans. Puis nous nous intéresserons enfin aux différents matériaux utilisés, leurs inconvénients et les solutions que l'on peut apporter à ces différents problèmes.

#### **1 – La solution la plus rapidement rentable.**

On se place dans le cas où le client ne possède pas une grosse somme d'argent nécessaire à une réhabilitation complète de la maison, donc nous allons juste nous fixer comme objectif de rendre le  $U_{\text{bât}}$  conforme à la législation, c'est à dire qu notre seul objectif est d'avoir  $U_{\text{bât}} \leq 1,3 \times U_{\text{ref}}$  .

Pour atteindre cet objectif, les modifications nécessaires sont :

- installation d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) et reprise de l'étanchéité de la façade.

- isolation des murs (donnant sur l'extérieur).
- isolation du plancher sur garage.
- installation d'un programmeur d'intermittence.

Les calculs sont détaillés dans l'annexe 7. Il est important de noter que le programmeur d'intermittence, ne joue pas dans la normalisation, mais il est essentiel puisqu'il permet d'économiser 30% de chauffage, ce qui n'est pas rien pour un objectif de meilleure rentabilité. On obtient donc les résultats suivants pour un investissement total de départ de 3462 €, qui seront rentabilisés durant la cinquième saison de chauffage.

## Bilan

|                     |            |
|---------------------|------------|
| U <sub>bât</sub>    | 0,87064442 |
| U <sub>bâtréf</sub> | 0,6797004  |

|                     | Gains solaires Q <sub>s</sub> (kWh) | Besoins chauffage Q <sub>h</sub> (kWh) |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| janvier             | 133,31                              | 1599,42                                |
| février             | 215,31                              | 1290,85                                |
| mars                | 388,81                              | 867,60                                 |
| avril               | 435,37                              | 385,93                                 |
| mai                 | 205,23                              | 115,96                                 |
| juin                | 615,16                              | 0,00                                   |
| juillet             | 729,99                              | 0,00                                   |
| août                | 646,15                              | 0,00                                   |
| septembre           | 444,99                              | 0,00                                   |
| octobre             | 267,85                              | 498,50                                 |
| novembre            | 121,94                              | 1374,17                                |
| décembre            | 107,42                              | 1595,50                                |
| saison de chauffage | 1875,23                             | 7727,94                                |
| total année         | 4311,53                             | 7727,94                                |

Bien que le U<sub>bât</sub> soit conforme à la RT2000, la maison n'est toujours pas aux normes, en effet, la réglementation, mentionne le fait que tous les éléments doivent respecter individuellement des limites en ce qui concerne les déperditions énergétiques. Dans le cas que nous traitons actuellement, ces lois ne sont pas respectées pour les fenêtres, le plafond sous



comble, le plancher sur vide sanitaire, et les portes. Mais nous verrons par la suite que ces différentes modifications représentent un investissement beaucoup plus important.

## 2 – Solution optimale rentable sur 10 ans

On s'attache dans ce cas là à obtenir le  $U_{\text{bât}}$  minimal qui puisse être rentabilisé sur 10 saisons de chauffage. On suppose donc que le client n'a aucun problème d'investissement. De plus dans ce cas là nous ferons en sorte que toutes les différentes parties de la maison soient aux normes, contrairement au cas précédent.

Les modifications effectuées sont les suivantes :

- installation d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) et reprise de l'étanchéité de la façade.
- isolation de tous murs.
- isolation du plancher sur garage.
- installation d'un programmeur d'intermittence.
- installation de double vitrage (sauf pour les deux portes-fenêtres).
- isolation du plafond sous comble.
- isolation du plancher sur vide sanitaire.

Le détail des calculs est porté en annexe 8.

Il faut tout de même noter que le traitement fait au sol (plancher sur vide sanitaire) ne prend pas en compte le prix du revêtement, par exemple parquet flottant, il est juste constitué de 5cm de liège. D'autre part certains éléments ne sont toujours pas aux normes, comme les deux portes, ainsi que les portes-fenêtres, pour pouvoir les traiter, il faudrait pouvoir rentabiliser sur 11 ans au lieu de 10. On obtient donc les résultats suivants pour un investissement total de départ de 9320 €, qui seront rentabilisés la dixième saison de chauffage.

## Bilan

|         |            |
|---------|------------|
| Ubât    | 0,51280882 |
| Ubâtréf | 0,6797004  |

|                     | Gains solaires Qs (kWh) | Besoins chauffage Qh (kWh) |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|
| janvier             | 133,31                  | 965,84                     |
| février             | 215,31                  | 740,21                     |
| mars                | 388,81                  | 412,71                     |
| avril               | 435,37                  | 133,18                     |
| mai                 | 205,23                  | 37,52                      |
| juin                | 615,16                  | 0,00                       |
| juillet             | 729,99                  | 0,00                       |
| août                | 646,15                  | 0,00                       |
| septembre           | 444,99                  | 0,00                       |
| octobre             | 267,85                  | 207,53                     |
| novembre            | 121,94                  | 816,41                     |
| décembre            | 107,42                  | 970,50                     |
| saison de chauffage | 1875,23                 | 4283,90                    |
| total année         | 4311,53                 | 4283,90                    |

Toujours est-il que le résultat est très intéressant en ce qui concerne le  $U_{\text{bât}}$  puisqu'on est bien en dessous de  $U_{\text{ref}}$ . Et cela se ressentira sur les années suivantes, puisque la durée de vie d'un isolant thermique est d'au moins une vingtaine d'années, et l'investissement est d'autant plus intéressant que les normes vont sans aucun doute évoluer au cours des années à venir et donc se placer au-dessus des normes est un avantage pour le future.

### 3 – Les différents matériaux utilisés, les alternatives.

Nous avons donc fait quelques recherches quant aux risques liés à l'utilisation des matériaux d'isolement choisis, et nous nous sommes aussi attachés à rechercher des isolent plus « propres », c'est à dire qui ne nécessitent pas de pollution pour leur production, ou qui représentent peu de travail pour un retraitement par exemple. Nous avons mis en annexe 9 les coefficients de conductivité thermique de quelque uns de ces isolants.

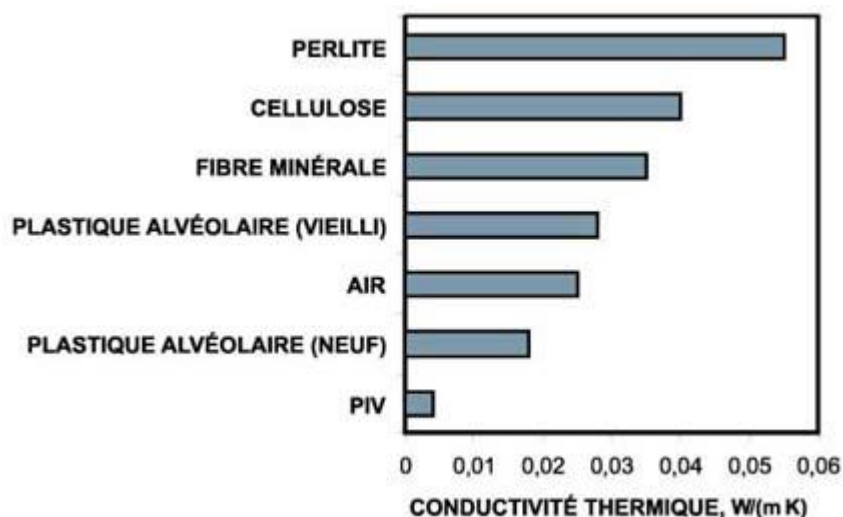
- Aspect sanitaire

La première chose que l'on peut noter c'est que certains produits sont potentiellement dangereux, ou pour être un peu moins direct, nous devrions dire nocif. L'un des premiers problèmes les plus inquiétants concerne un isolant des plus utilisés, c'est à dire la laine de verre, en effet selon certains elle serait potentiellement cancérigène. En outre, nous avons rencontré certains documents dénonçant le fait que le polystyrène émettait du gaz styrène pendant toute sa durée de vie, mais aucune étude n'a été faite pour attester du réel danger de ce phénomène. Donc certains produits utilisés peuvent s'avérer dangereux, mais dans une moindre mesure, ce risque n'est pourtant pas forcément négligeable et il me paraît important de ne négliger aucune source de danger.

- Innovation

#### *Les PIV*

L'efficacité des matériaux isolants classiques remplis d'air est limitée par la conductivité thermique de l'air emprisonné dans le matériau ainsi que par les propriétés du matériau isolant lui-même. Les matériaux isolants en plastique alvéolaire rempli de gaz peuvent offrir une résistance thermique plus élevée que les matériaux isolants traditionnels remplis d'air car la conductivité thermique du gaz est plus faible que celle de l'air. Mais la



pénétration d'air atmosphérique au cours de la durée de vie utile des matériaux isolants en plastique alvéolaire diminue leur résistance thermique. La technologie propre aux PIV avec la création de conditions proches du vide permet de réduire la conductivité thermique au travers du matériau isolant.

### *La fibre de bananier*

Un laboratoire français, qui est l'un des plus importants laboratoires européens pour l'approbation de matériaux réglementés, a déposé un brevet pour un nouveau procédé de traitement des fibres du bananier, comportant un traitement mécanique et chimique des fibres et produisant un matériau d'isolation thermique et acoustique hautes performances, ininflammable et résistant aux champignons. Son principal atout est son poids, mais il possède aussi un coefficient  $U < 0,4 \text{ W/Km}^2$  ce qui est très intéressant. Mais le matériau n'est encore qu'au stade de projet puisqu'il n'est pas encore commercialisé, nous ignorons donc encore son prix.

### *Le chanvre*

Entièrement naturel, le chanvre isolation et de construction se révèle d'une richesse peu commune. Isolant thermique et acoustique, régulateur d'humidité, imputrescible, solide, ininflammable, ce matériau répond à toutes les exigences du confort moderne. Et participe de surcroît, à l'amélioration de la qualité de vie. Constructions neuves, restauration de chaumière ou de maison à colombages, les débouchés sont multiples. Ce procédé garde l'esprit et la personnalité du bâtiment qu'on restaure. Et de surcroît, il possède les mêmes caractéristiques que les isolants traditionnels tels que la laine de verre ou la polystyrène. Côté coût, les prix sont basés sur l'équivalent conventionnel.

Ce nouvel isolant comporte l'atout non négligeable d'être bio est grâce à cela il peut prétendre à une clientèle de plus en plus sensibilisée aux différents problèmes environnementaux.

## **IV – conclusion**

Pour clore cette étude, nous remarquerons que le cas que nous avons traité est en fait un cas banal et que la plupart des maisons française sont à peu de choses près dans le même cas de figure. Une réhabilitation énergétique est donc indispensable.

Les principaux enjeux de cette réhabilitation sont donc:

- en terme de surconsommation énergétique.
- environnemental.
- économique (possible choc pétrolier dans les mois à venir).

Cette réhabilitation du parque immobilier français est une chose à prendre au sérieux et à réaliser dans les délais les plus bref.

Ce qui ressort de manière importante de cette étude, c'est l'importance de l'innovation en matière d'isolant thermique, il est donc probable que dans les années à venir de nouvelle méthode et de nouveaux matériaux s'impose sur le marché. Ces changement sont important surtout en ce qui concerne les matériaux bio qui visent à une protection de l'environnement.

## **V – Annexes**

- *Annexe 1*

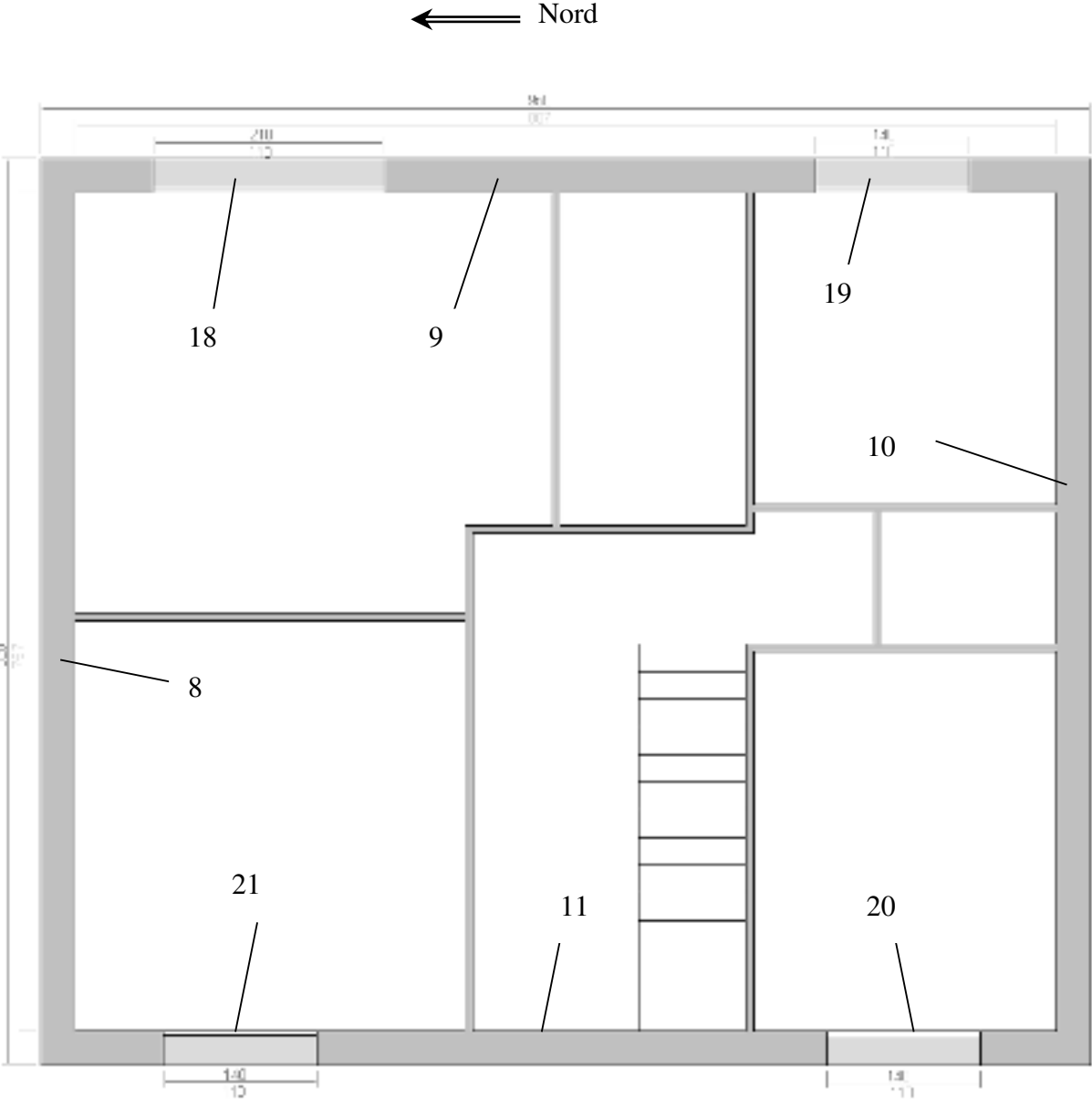
Plan du rez-de-chaussée de la maison (côtes en cm)





- Annexe 2

Plan du premier étage de la maison (côtes en cm)





• Annexe 3

| Éléments de l'enveloppe             | Constitution   | Coefficient<br>b |
|-------------------------------------|--|------------------|
| Murs verticaux R.d.C extérieurs     | Extérieur Intérieur :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortier (1 cm, 1,15 W/m.K)</li> <li>• Parpaings (20cm, R = 0,22 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Lambe d'air (4 cm, R = 0,16 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Brique (5 cm, R = 0,1 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Plâtre (1 cm, 0,35 W/m.K)</li> </ul> | 1                |
| Murs verticaux R.d.C sur garage     | Extérieur Intérieur :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Parpaings (20 cm, R = 0,22 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Plâtre (1 cm, 0,35 W/m.K)</li> </ul>  | 0,6              |
| Murs verticaux étage                | Extérieur Intérieur :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Bardage bois (1,5 cm, 0,23 W/m.K)</li> <li>• Briques (12,5 cm, R = 0,27 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Lambe d'air (4 cm)</li> <li>• Briques (12,5 cm)</li> <li>• Plâtre (1 cm)</li> </ul>  | 1                |
| Plafond sous combles ventilés       | Laine de verre (5 cm, 0,04 W/m.K) posée sur des plaques de plâtre (1,5 cm, 0,35 W/m.K)   | 0,8              |
| Plancher sur garage                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalle de béton (15 cm, 1,75 W/m.K)</li> <li>• Plancher bois (1 cm, 0,23 W/m.K)</li> </ul>   | 0,6              |
| Plancher sur vide sanitaire ventilé | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hourdis béton et dalle de compression béton (20 cm, R = 0,21 m<sup>2</sup>.K/W)</li> <li>• Carrelage (0,5 cm, 1,5 W/m.K)</li> </ul>   | 0,5              |
| Baies vitrées                       | Simple vitrage (4 mm), menuiserie bois, volet bois ajouré (U = 3,45 W/m <sup>2</sup> .K)   | 1                |
| Porte d'entrée                      | Bois plein (U = 3,5 W/m <sup>2</sup> .K)   | 1                |
| Porte d'accès au garage             | Contreplaqué bois (U = 2 W/m <sup>2</sup> .K)  | 0,6              |

Constitution des éléments déperditifs

• Annexe 4

Etude de la maison existante

| nom | type                          | U     | Uréf  | A ou L | b     | b.A.U  | A.Uréf |
|-----|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 1   | mur vertical RDC-ext          | 1,455 | 0,400 | 18,975 | 1,000 | 27,609 | 7,590  |
| 2   | mur vertical RDC-ext          | 1,455 | 0,400 | 12,960 | 1,000 | 18,857 | 5,184  |
| 3   | mur vertical RDC-ext          | 1,455 | 0,400 | 10,200 | 1,000 | 14,841 | 4,080  |
| 4   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 5,025  | 1,000 | 9,899  | 2,010  |
| 5   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 8,750  | 1,000 | 17,238 | 3,500  |
| 6   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 2,450  | 0,600 | 2,896  | 0,980  |
| 7   | mur vertical RDC-ext          | 1,455 | 0,400 | 8,350  | 0,600 | 7,290  | 3,340  |
| 8   | mur vertical étage            | 1,060 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 20,061 | 7,570  |
| 9   | mur vertical étage            | 1,060 | 0,400 | 18,325 | 1,000 | 19,425 | 7,330  |
| 10  | mur vertical étage            | 1,060 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 20,061 | 7,570  |
| 11  | mur vertical étage            | 1,060 | 0,400 | 19,095 | 1,000 | 20,241 | 7,638  |
| 12  | porte-fenêtre                 | 3,450 | 2,000 | 4,620  | 1,000 | 15,939 | 9,240  |
| 13  | porte- fenêtre                | 3,450 | 2,000 | 3,080  | 1,000 | 10,626 | 6,160  |
| 14  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  |
| 15  | porte du garage               | 2,000 | 1,500 | 2,000  | 0,600 | 2,400  | 3,000  |
| 16  | porte d'entrée                | 3,500 | 1,500 | 2,860  | 1,000 | 10,010 | 4,290  |
| 17  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  |
| 18  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 2,310  | 1,000 | 7,970  | 4,620  |
| 19  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  |
| 20  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  |
| 21  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  |
| 22  | plancher sur garage           | 2,131 | 0,400 | 9,835  | 0,600 | 12,577 | 3,934  |
| 23  | plancher sur vide sanitaire   | 1,807 | 0,400 | 61,550 | 0,500 | 55,617 | 24,620 |
| 24  | plafond sous comble           | 0,665 | 0,230 | 67,140 | 0,800 | 35,740 | 15,442 |
| L8  | plancher bas avec mur         |       | 0,500 | 32,940 |       | 0,000  | 16,470 |
| L9  | plancher sous comble avec mur |       | 0,700 | 65,760 |       | 0,000  | 46,032 |

|         |       |
|---------|-------|
| Ubât    | 1,292 |
| Ubâtréf | 0,680 |

• Annexe 5

Calcul du gain solaire

|                             |       | unité          |
|-----------------------------|-------|----------------|
| Baie vitrée hor (surface)   | 0     | m <sup>2</sup> |
| facteur solaire S           | 0,5   | —              |
| facteur d'ombre F           | 1     | —              |
| Aire équiv horizon          | 0     | m <sup>2</sup> |
| Baie vitrée sud (surface)   | 0     | m <sup>2</sup> |
| facteur solaire S           | 0,5   | —              |
| facteur d'ombre F           | 1     | —              |
| Aire équiv sud              | 0     | m <sup>2</sup> |
| Baie vitrée est (surface)   | 10,01 | m <sup>2</sup> |
| facteur solaire S           | 0,5   | —              |
| facteur d'ombre F           | 1     | —              |
| Aire équiv est              | 5,005 | m <sup>2</sup> |
| Baie vitrée ouest (surface) | 4,62  | m <sup>2</sup> |
| facteur solaire S           | 0,5   | —              |
| facteur d'ombre F           | 1     | —              |
| Aire équiv ouest            | 2,31  | m <sup>2</sup> |
| Baie vitrée nord (surface)  | 0     | m <sup>2</sup> |
| facteur solaire S           | 0,5   | —              |
| facteur d'ombre F           | 1     | —              |
| Aire équiv nord             | 0     | m <sup>2</sup> |

|                     | Gains solaires Qs (kWh) | Is     | Io     | In    | Ie     | Ih     | Njours/mois | Njours chauffage (Njc) |
|---------------------|-------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------------|------------------------|
| janvier             | 133,31                  | 44,30  | 23,40  | 18,4  | 25,00  | 38,90  | 31,00       | 31,00                  |
| février             | 215,31                  | 76,20  | 46,40  | 30,90 | 42,60  | 72,60  | 28,00       | 28,00                  |
| mars                | 388,81                  | 99,50  | 72,40  | 46,70 | 71,00  | 114,30 | 31,00       | 31,00                  |
| avril               | 435,37                  | 94,10  | 80,20  | 60,00 | 83,80  | 144,70 | 30,00       | 30,00                  |
| mai                 | 205,23                  | 99,40  | 97,40  | 75,70 | 101,70 | 177,20 | 31,00       | 15,00                  |
| juin                | 615,16                  | 107,40 | 116,80 | 86,50 | 116,80 | 209,90 | 30,00       | 0,00                   |
| juillet             | 729,99                  | 123,50 | 129,00 | 86,10 | 136,50 | 242,90 | 31,00       | 0,00                   |
| août                | 646,15                  | 127,90 | 116,40 | 71,20 | 119,80 | 208,50 | 31,00       | 0,00                   |
| septembre           | 444,99                  | 117,60 | 82,30  | 55,70 | 85,50  | 144,10 | 30,00       | 0,00                   |
| octobre             | 267,85                  | 81,60  | 52,50  | 35,50 | 47,70  | 83,70  | 31,00       | 31,00                  |
| novembre            | 121,94                  | 40,20  | 26,30  | 18,60 | 21,70  | 38,40  | 30,00       | 30,00                  |
| décembre            | 107,42                  | 37,90  | 19,60  | 14,80 | 19,80  | 30,80  | 31,00       | 31,00                  |
| saison de chauffage | 1875,23                 |        |        |       |        |        | 243,00      | 227,00                 |
| total année         | 4311,53                 |        |        |       |        |        | 365,00      | 227,00                 |

• Annexe 6

|                     | Pertes Ql (kWh) | Gains internes Qi (kWh) | Gains solaires Qs (kWh) | Total gains Qg (kWh) | Ratio gains/pertes (gamma) | Facteur d'utilisation (éta) | température sans chauffage Tsc | Ti-Tsc | Njours/moischauffage | Njourschauffage (Njc) | Besoins chauffage Qh (kWh) |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| janvier             | 3732,19         | 371,14                  | 133,31                  | 504,45               | 0,14                       | 0,99                        | 5,46                           | 12,54  | 31,00                | 31,00                 | 3234,80                    |
| février             | 3254,77         | 335,22                  | 215,31                  | 550,53               | 0,17                       | 0,98                        | 6,37                           | 11,63  | 28,00                | 28,00                 | 2716,01                    |
| mars                | 2805,58         | 371,14                  | 388,81                  | 759,95               | 0,27                       | 0,95                        | 10,05                          | 7,95   | 31,00                | 31,00                 | 2083,81                    |
| avril               | 1868,17         | 359,16                  | 435,37                  | 794,54               | 0,43                       | 0,89                        | 13,69                          | 4,31   | 30,00                | 30,00                 | 1158,12                    |
| mai                 | 1261,22         | 371,14                  | 205,23                  | 576,36               | 0,46                       | 0,88                        | 15,34                          | 2,66   | 31,00                | 15,00                 | 364,52                     |
| juin                | 423,45          | 472,80                  | 615,16                  | 1087,96              | 2,57                       | 0,35                        | 20,67                          | -2,67  | 30,00                | 0,00                  | 0,00                       |
| juillet             | -669,22         | 371,14                  | 729,99                  | 1101,13              | -1,65                      | non déf                     | 24,88                          | -6,88  | 31,00                | 0,00                  | 0,00                       |
| août                | -231,65         | 371,14                  | 646,15                  | 1017,29              | -4,39                      | non déf                     | 22,85                          | -4,85  | 31,00                | 0,00                  | 0,00                       |
| septembre           | 498,18          | 359,16                  | 444,99                  | 804,15               | 1,61                       | 0,51                        | 19,23                          | -1,23  | 30,00                | 0,00                  | 0,00                       |
| octobre             | 1904,70         | 371,14                  | 267,85                  | 638,99               | 0,34                       | 0,93                        | 13,08                          | 4,92   | 31,00                | 31,00                 | 1312,00                    |
| novembre            | 3287,98         | 359,16                  | 121,94                  | 481,11               | 0,15                       | 0,98                        | 6,73                           | 11,27  | 30,00                | 30,00                 | 2814,70                    |
| décembre            | 3680,71         | 371,14                  | 107,42                  | 478,55               | 0,13                       | 0,99                        | 5,56                           | 12,44  | 31,00                | 31,00                 | 3208,37                    |
| saison de chauffage | 21795,33        | 2909,23                 | 1875,23                 | 4784,47              | 0,22                       | 0,97                        |                                |        | 243,00               | 227,00                | 16892,34                   |
| total année         | 21816,09        | 4483,47                 | 4311,53                 | 8795,00              | 0,4031427                  | 0,90                        |                                |        | 365,00               | 227,00                | 16892,34                   |

• Annexe 7

| nom | type                          | U     | Uréf  | A ou L | b     | b.A.U  | A.Uréf | coût unitaire | coût   |
|-----|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|---------------|--------|
| 1   | mur vertical RDC-ext          | 0,370 | 0,400 | 18,975 | 1,000 | 7,021  | 7,590  | 22,000        | 417,45 |
| 2   | mur vertical RDC-ext          | 0,370 | 0,400 | 12,960 | 1,000 | 4,795  | 5,184  | 22,000        | 285,12 |
| 3   | mur vertical RDC-ext          | 0,370 | 0,400 | 10,200 | 1,000 | 3,774  | 4,080  | 22,000        | 224,4  |
| 4   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 5,025  | 1,000 | 9,899  | 2,010  |               | 0      |
| 5   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 8,750  | 1,000 | 17,238 | 3,500  |               | 0      |
| 6   | mur vertical RDC sur garage   | 1,970 | 0,400 | 2,450  | 0,600 | 2,896  | 0,980  |               | 0      |
| 7   | mur vertical RDC-ext          | 0,370 | 0,400 | 8,350  | 0,600 | 1,854  | 3,340  | 22,000        | 183,7  |
| 8   | mur vertical étage            | 0,340 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 6,435  | 7,570  | 22,000        | 416,35 |
| 9   | mur vertical étage            | 0,340 | 0,400 | 18,325 | 1,000 | 6,231  | 7,330  | 22,000        | 403,15 |
| 10  | mur vertical étage            | 0,340 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 6,435  | 7,570  | 22,000        | 416,35 |
| 11  | mur vertical étage            | 0,340 | 0,400 | 19,095 | 1,000 | 6,492  | 7,638  | 22,000        | 420,09 |
| 12  | porte-fenêtre                 | 3,450 | 2,000 | 4,620  | 1,000 | 15,939 | 9,240  |               | 0      |
| 13  | porte-fenêtre                 | 3,450 | 2,000 | 3,080  | 1,000 | 10,626 | 6,160  |               | 0      |
| 14  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  | 0,000         | 0      |
| 15  | porte du garage               | 2,000 | 1,500 | 2,000  | 0,600 | 2,400  | 3,000  |               | 0      |
| 16  | porte d'entrée                | 3,500 | 1,500 | 2,860  | 1,000 | 10,010 | 4,290  |               | 0      |
| 17  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  | 0,000         | 0      |
| 18  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 2,310  | 1,000 | 7,970  | 4,620  | 0,000         | 0      |
| 19  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  | 0,000         | 0      |
| 20  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  | 0,000         | 0      |
| 21  | fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 5,313  | 3,080  | 0,000         | 0      |
| 22  | plancher sur garage           | 0,330 | 0,400 | 9,835  | 0,600 | 1,947  | 3,934  | 24,000        | 236,04 |
| 23  | plancher sur vide sanitaire   | 1,807 | 0,400 | 61,550 | 0,500 | 55,617 | 24,620 |               | 0      |
| 24  | plafond sous comble           | 0,665 | 0,230 | 67,140 | 0,800 | 35,740 | 15,442 |               | 0      |
| L8  | plancher bas avec mur         |       | 0,500 | 32,940 |       | 0,000  | 16,470 |               | 0      |
| L9  | plancher sous comble avec mur |       | 0,700 | 65,760 |       | 0,000  | 46,032 |               | 0      |

• Annexe 8

| nom | type                                | U     | Uréf  | A ou L | b     | b.A.U  | A.Uréf | coût unitaire | coût    |
|-----|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|---------------|---------|
| 1   | mur vertical<br>RDC-ext             | 0,370 | 0,400 | 18,975 | 1,000 | 7,021  | 7,590  | 22,000        | 417,45  |
| 2   | mur vertical<br>RDC-ext             | 0,370 | 0,400 | 12,960 | 1,000 | 4,795  | 5,184  | 22,000        | 285,12  |
| 3   | mur vertical<br>RDC-ext             | 0,370 | 0,400 | 10,200 | 1,000 | 3,774  | 4,080  | 22,000        | 224,4   |
| 4   | mur vertical<br>RDC sur<br>garage   | 0,390 | 0,400 | 5,025  | 1,000 | 1,960  | 2,010  | 22,000        | 110,55  |
| 5   | mur vertical<br>RDC sur<br>garage   | 0,390 | 0,400 | 8,750  | 1,000 | 3,413  | 3,500  | 22,000        | 192,5   |
| 6   | mur vertical<br>RDC sur<br>garage   | 0,390 | 0,400 | 2,450  | 0,600 | 0,573  | 0,980  | 22,000        | 53,9    |
| 7   | mur vertical<br>RDC-ext             | 0,370 | 0,400 | 8,350  | 0,600 | 1,854  | 3,340  | 22,000        | 183,7   |
| 8   | mur vertical<br>étage               | 0,340 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 6,435  | 7,570  | 22,000        | 416,35  |
| 9   | mur vertical<br>étage               | 0,340 | 0,400 | 18,325 | 1,000 | 6,231  | 7,330  | 22,000        | 403,15  |
| 10  | mur vertical<br>étage               | 0,340 | 0,400 | 18,925 | 1,000 | 6,435  | 7,570  | 22,000        | 416,35  |
| 11  | mur vertical<br>étage               | 0,340 | 0,400 | 19,095 | 1,000 | 6,492  | 7,638  | 22,000        | 420,09  |
| 12  | porte-fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 4,620  | 1,000 | 15,939 | 9,240  | 0,000         | 0       |
| 13  | porte-fenêtre                       | 3,450 | 2,000 | 3,080  | 1,000 | 10,626 | 6,160  | 0,000         | 0       |
| 14  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 3,850  | 3,080  | 300,000       | 462     |
| 15  | porte du<br>garage                  | 2,000 | 1,500 | 2,000  | 0,600 | 2,400  | 3,000  |               | 0       |
| 16  | porte d'entrée                      | 3,500 | 1,500 | 2,860  | 1,000 | 10,010 | 4,290  | 0,000         | 0       |
| 17  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 3,850  | 3,080  | 300,000       | 462     |
| 18  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 2,310  | 1,000 | 5,775  | 4,620  | 300,000       | 693     |
| 19  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 3,850  | 3,080  | 300,000       | 462     |
| 20  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 3,850  | 3,080  | 300,000       | 462     |
| 21  | fenêtre                             | 2,500 | 2,000 | 1,540  | 1,000 | 3,850  | 3,080  | 300,000       | 462     |
| 22  | plancher sur<br>garage              | 0,330 | 0,400 | 9,835  | 0,600 | 1,947  | 3,934  | 24,000        | 236,04  |
| 23  | plancher sur<br>vide sanitaire      | 0,525 | 0,400 | 61,550 | 0,500 | 16,157 | 24,620 | 15,500        | 954,025 |
| 24  | plafond sous<br>comble              | 0,190 | 0,230 | 67,140 | 0,800 | 10,205 | 15,442 | 23,000        | 1544,22 |
| L8  | plancher bas<br>avec mur            |       | 0,500 | 32,940 |       | 0,000  | 16,470 |               | 0       |
| L9  | plancher sous<br>comble avec<br>mur |       | 0,700 | 65,760 |       | 0,000  | 46,032 |               | 0       |

- Annexe 9

Coefficient de conductivité thermique de quelque matériaux :

|                        |               |  |       |
|------------------------|---------------|--|-------|
| Le polyuréthane        | 0,025         | La laine de verre ou de roche (rouleau ou plaques) | 0,04  |
| Le polystyrène extrudé | 0,03          | Laine de verre ou de roche (flocons)               | 0,045 |
| La laine de mouton     | 0,032         | Le chanvre en vrac                                 | 0,048 |
| Le lin                 | 0,037         | La perlite   | 0,060 |
| Le liège               | 0,037 à 0,040 | La vermiculite                                     | 0,07  |
| Le polystyrène expansé | 0,038         | Le bois  | 0,15  |
| Le chanvre en rouleau  | 0,04          | Le béton cellulaire                                | 0,17  |
| La cellulose           | 0,04          | Le béton standard                                  | 2     |
| La laine de bois       | 0,04          | Le cuivre  | 380   |