

*Projet d'énergétique*

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

**Bâtiment C**

**Localisé à Tulle en Corrèze**

**(zone été : Ec, zone hiver, H1)**

**Chauffage au gaz**

## Sommaire

I – Introduction et présentation du problème .....	p3
II – Evaluation de la performance énergétique de la maison .....	p4
1 – Calcul du coefficient moyen de déperdition thermique.....	p4
2 – Calcul des apports solaires.....	p5
3 – Calcul des besoins mensuels de chauffage.....	p6
III – Elaboration d’un programme de réhabilitation de la maison .....	p8
1 – Les solutions classiques.....	p8
• Le double vitrage	
• VMC, isolation des murs	
• VMC, isolation des murs et chaudière	
2 – Les solutions adaptées aux attentes du client.....	p11
• Le chanvre	
• La laine Triso	
• La plume	
IV – Conclusion .....	p17

### Pièces jointes :

- Fichiers Excel - Référence
- Double vitrage
  - Ventilation + Isolation mur
  - Chaudière + Ventilation + Isolation mur
  - Chaudière + Chanvre sol 2
  - Chaudière + Triso laine
  - Chaudière + Plume sol6

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

A travers cette étude nous nous intéresserons à la réhabilitation énergétique d'une vieille maison, et donc ayant une performance énergétique très moyenne, en particuliers en ce qui concerne l'isolation thermique.

Nous avons choisi de nous placer dans la zone climatique la plus rude en France (climat semi continental) là où la maison était établie, le but étant d'évaluer les coûts énergétiques dans les conditions climatiques pour lesquelles la maison a été construite. D'autre part, il est important de noter que nous avons aussi choisi de chauffer cette maison au gaz, pour la bonne et simple raison que ce choix est le plus vraisemblable.

En outre, comme certaines données nous ont été imposées : les calculs sont effectués pour assurer une température ambiante intérieure de 20°C et 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 – Calcul du coefficient moyen de déperdition thermique**

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 à l'aide des valeurs données par le tableau 2 de l'énoncé. 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 (Cf. Fichier Excel «Reference» feuille 3)

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

<b>Ubat (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Uref (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>1,541013095</b>	<b>0,533895892</b>

D'après la réglementation, on devrait avoir  $U_{\text{bât}} = U_{\text{ref}}$  or on est très loin de ce résultat puisqu'on a presque  $U_{\text{bât}} = 3 \times U_{\text{ref}}$  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. (Cf. Fichier Excel « Reference » feuille 2)

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  $Q_s$  :

$$Q_s = A_s \cdot I_s + A_o \cdot I_o + A_e \cdot I_e + A_n \cdot I_n$$

$A_s$  : aire équivalente sud

$A_o$  : aire équivalente ouest

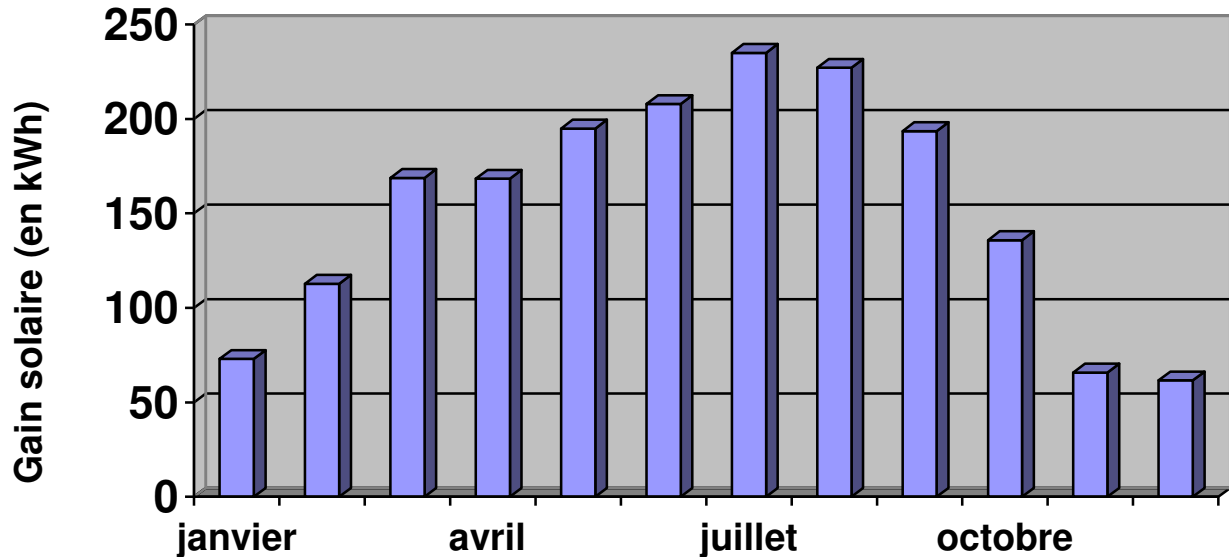
$A_e$  : aire équivalente nord

$A_n$  : aire équivalente est

On obtient ainsi :

	Gains solaires $Q_s$ (en kWh)
janvier	72,99
février	112,79
mars	168,80
avril	168,34
mai	194,89
juin	207,90
juillet	234,95
août	227,08
septembre	193,52
octobre	135,91
novembre	65,77
décembre	61,60
total année	1844,54

## Répartition annuelle des apports solaires



Ce qui nous intéresse ici ce sont les apports durant la saison de chauffage puisqu'ils vont nous permettre de faire des économies d'énergie.

### 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.

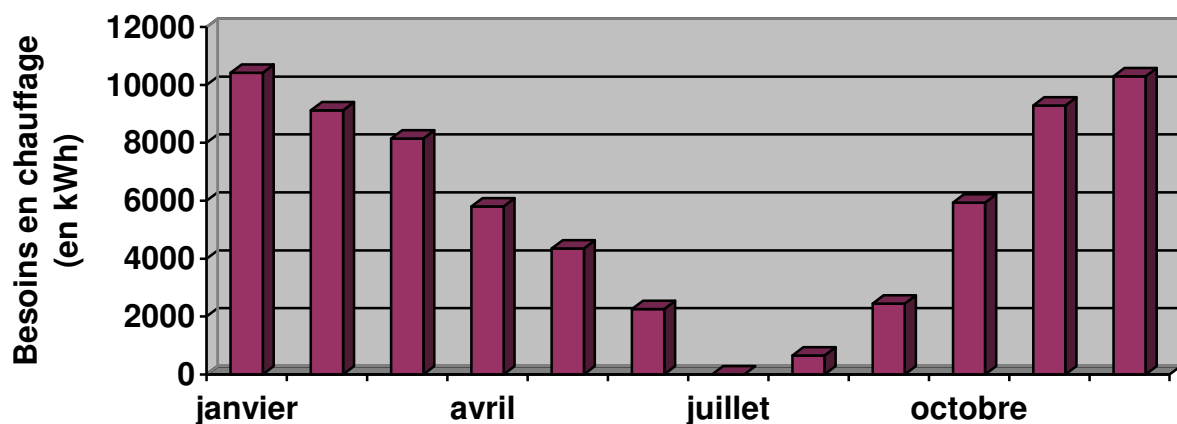
Pour calculer les besoins mensuels de chauffage, on a rempli la fiche de calcul proposée dans le sujet (Cf. Fichier Excel « Reference » feuille 1).

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

## Bilan

	N jours de chauffage Njc	Besoins chauffage Qh (kWh)	Coût mensuel en €
janvier	31	10418,20	892,99
février	28	9124,15	782,07
mars	31	8144,08	698,06
avril	30	5803,73	497,46
mai	31	4355,70	373,35
juin	30	2260,25	193,74
juillet	0	0,00	0,00
août	30	650,06	55,72
septembre	30	2443,52	209,44
octobre	31	5934,12	508,64
novembre	30	9287,37	796,06
décembre	31	10291,94	882,17
total année	333	68713,11	5889,69

## Répartition annuelle des besoins de chauffage



La principale remarque que l'on peut faire est que cette maison n'est pas du tout économique en énergie, puisque la consommation annuelle en énergie de celle-ci est de 68 713,11 kWh soit 5 889 € par an.

## **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 des solutions classiques proposées dans le sujet, puis nous verrons ensuite des solutions plus en harmonie avec les matériaux initiaux de la maison et correspondant au client que nous nous sommes imaginé : un écologiste au budget modéré mais prêt à investir si les solutions sont rentables dans les 5 ans.

Dans chaque cas, nous avons procédé de la même façon que précédemment pour le calcul de  $U_{bat}$ . Noter que  $U_{ref}$  ne change pas puisqu'il est défini à partir de la réglementation RT 2000.

### **1 – Les solutions classiques.**

- **Le double vitrage**

Dans un premier temps, nous avons essayé de changer les vitres, mais très vite nous nous sommes rendus compte que les modifications n'étaient même pas amorties en 10 ans et qu'il valait mieux abandonner cette idée. (Cf. Fichier Double vitrage)

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	146,15		
Installation	1755		
Amortissement en années	12,00844079		
Coût sur 10 ans	59 190,43	Gain sur 10 ans	- 293,53
Coût sur 5 ans	30 472,71	Gain sur 5 ans	- 1 024,26

- **VMC et isolation des murs**

Pour atteindre notre 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).

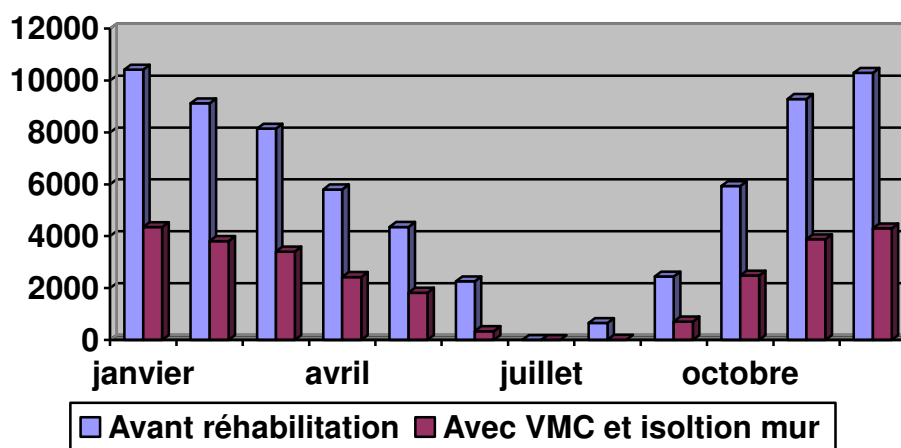
Les calculs sont détaillés dans le fichier « Ventilation +Isolation mur ». On obtient  $U_{bat}$  très proche de  $U_{ref}$ . Les résultats sont donc satisfaisants.

## Bilan

<b>U<sub>bat</sub> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>U<sub>ref</sub> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>0,658628189</b>	<b>0,533895892</b>

	<b>N jours de chauffage N<sub>jc</sub></b>	<b>Besoins chauffage Q<sub>h</sub> (kWh)</b>	<b>Coût mensuel en €</b>
janvier	31	4353,08	373,12
février	28	3812,66	326,80
mars	31	3403,31	291,71
avril	30	2425,46	207,90
mai	31	1820,37	156,03
juin	18	337,79	28,95
juillet	0	0,00	0,00
août	4	4,50	0,39
septembre	25	707,77	60,67
octobre	31	2479,93	212,57
novembre	30	3880,75	332,64
décembre	31	4300,31	368,60
total année	290	27525,92	2359,36

### Besoins en chauffage (en kWh)



Pour un investissement total de départ de 3 530 €, on voit sur le graphique que la réhabilitation diminue considérablement les besoins en chauffage ; la rentabilité est existante dès la deuxième saison de chauffe.

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	3530,33		
Installation	6030,62		
Amortissement en années	1,708233489		
Coût sur 10 ans	29 624,27	Gain sur 10 ans	29 272,63
Coût sur 5 ans	17 827,44	Gain sur 5 ans	11 621,01

Bien que le  $U_{\text{bât}}$  soit proche de celui proposé par la RT2000, il est encore possible de faire des économies en remplaçant la chaudière. En effet, une chaudière ancienne a un rendement de 0,7 alors qu'il est de 0,85 pour une chaudière neuve.

- **VMC, isolation des murs et chaudière**

Nous avons, dans ce cas, repris l'étude ci-dessus et changer uniquement le rendement.

Les gains sur 5 et 10 ans varient alors :

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	3947,00		
Installation	7030,62		
Amortissement en années	1,781255915		
Coût sur 10 ans	26 457,50	Gain sur 10 ans	32 439,40
Coût sur 5 ans	16 744,06	Gain sur 5 ans	12 704,39

La solution optimale classique que nous proposons est donc :

- ✓ la reprise de l'étanchéité de la façade et installation d'une ventilation mécanique contrôlée
- ✓ une isolation des murs verticaux par doublage intérieur (8 cm de polystyrène et 1 cm de plâtre)
- ✓ l'installation d'une chaudière neuve d'une puissance de 23 kW

## **2 – Les solutions adaptées aux attentes du client**

Pour chaque solution technique nous avons testé plusieurs épaisseurs d'isolant et combiné des différentes solutions entre le rampant et les murs. Cependant, nous ne détaillerons que les combinaisons optimales pour chaque solution. Dans tous les cas, la chaudière a été changée et remplacée par un modèle neuf. Le détail des calculs se trouve dans les fichiers Excel joint au document Word.

- **Le chanvre**

Entièrement naturel, le chanvre d'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, comme le souhaite notre client. Et de surcroît, il possède les mêmes caractéristiques que les isolant traditionnels tels que la laine de verre ou la polystyrène. 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. Son installation est simple, il suffit de le couvrir d'une plaque de plâtre pour les murs et d'un pare vapeur pour les rampants. Son prix est relativement abordable puisqu'on le trouve commercialiser chez des grandes enseignes telles que la Camif.

Pour le chanvre, le meilleur gain est obtenu sur 10 ans comme sur 5 ans pour l'application de 10 cm de chanvre sur les murs et les rampants. Noter que les rouleaux utilisés pour les rampants n'ont pas les mêmes caractéristiques physiques que ceux des murs.

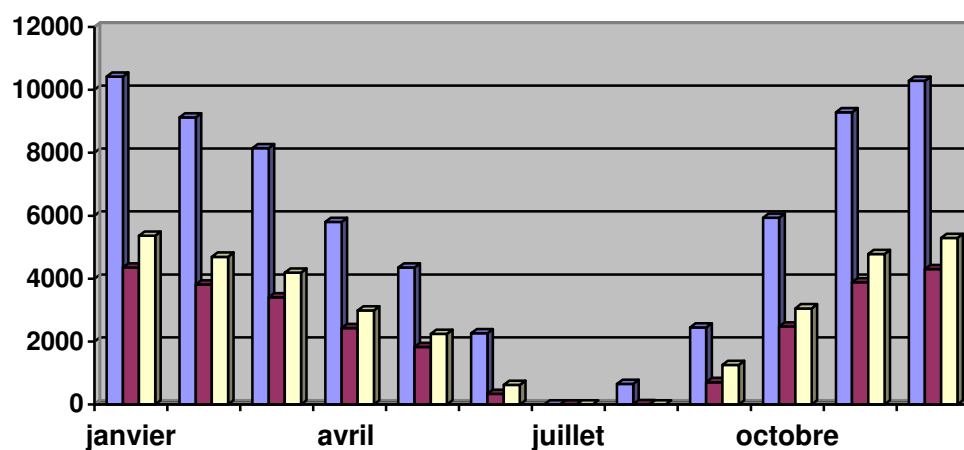
Ainsi on obtient avec cette solution les résultats suivants : (Cf. « Chaudière + Chanvre sol 2 » pour le détails des calculs)

## Bilan

<b>Ubat (W/m².K)</b>	<b>Uref (W/m².K)</b>
<b>0,849861969</b>	<b>0,533895892</b>

	<b>N jours de chauffage Njc</b>	<b>Besoins chauffage Qh (kWh)</b>	<b>Coût mensuel en €</b>
janvier	31	5360,12	378,36
février	28	4694,67	331,39
mars	31	4190,61	295,81
avril	30	2986,55	210,82
mai	31	2241,48	158,22
juin	22	623,23	43,99
juillet	0	0,00	0,00
août	0	0,00	0,00
septembre	30	1257,49	88,76
octobre	31	3053,61	215,55
novembre	30	4778,51	337,31
décembre	31	5295,15	373,78
total année	295	34481,43	2433,98

### Besoins en chauffage (en kWh)



■ Avant réhabilitation    
 ■ Avec VMC et isolation mur    
 ■ Chanvre

Grâce au graphique, on remarque que la solution avec isolation au chanvre n'est pas aussi rentable que celle avec VMC et isolation mur classique. Cependant, le chanvre reste relativement compétitif.

D'un point de vue financier, cette solution est rentable dès la troisième année :

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	3455,71		
Installation	9 470,35		
Amortissement en années	2,74049572		
Coût sur 10 ans	33 810,18	Gain sur 10 ans	25 086,72
Coût sur 5 ans	21 640,27	Gain sur 5 ans	7 808,18

- **La laine triso**

Cet isolant sain et naturel à base de laine de mouton régule naturellement l'hygrométrie. L'un de ses principaux avantages est son épaisseur : seulement 2,5 cm ce qui permet de gagner de la place dans la maison ; son isolation est équivalente à 25 cm de laine de verre. Sa souplesse permet de l'appliquer sur les murs comme sur les rampants. Il rafraîchit l'été et assèche la sous-face de la couverture par convection libre. Il est garanti 10 ans.

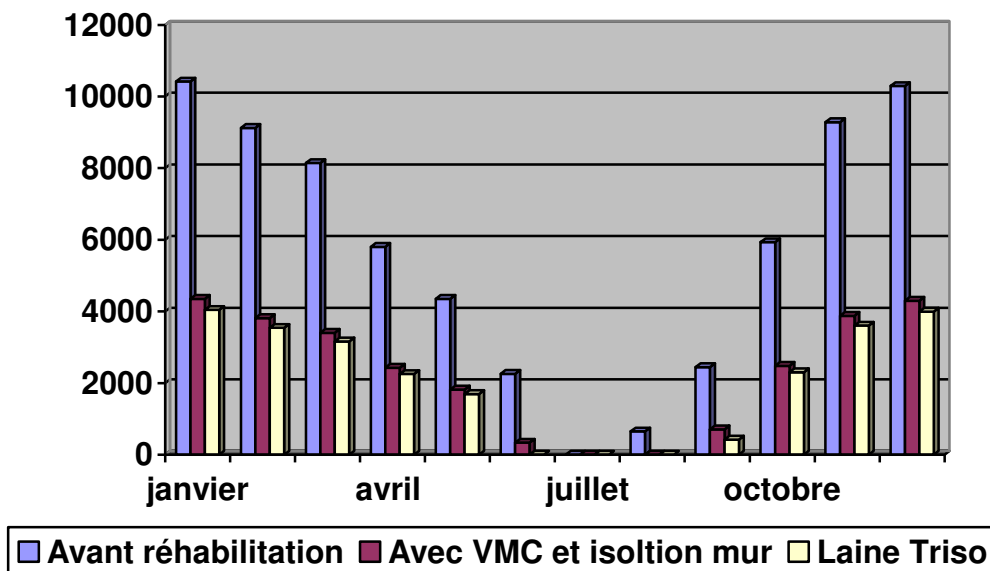
Ces capacités thermiques permettent d'obtenir les résultats suivants :

## Bilan

<b>Ubat (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Uref (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>0,600068923</b>	<b>0,533895892</b>

	<b>N jours de chauffage Njc</b>	<b>Besoins chauffage Qh (kWh)</b>	<b>Coût mensuel en €</b>
janvier	31	4044,71	285,51
février	28	3542,58	250,06
mars	31	3162,23	223,22
avril	30	2253,65	159,08
mai	31	1691,42	119,39
juin	2	3,35	0,24
juillet	0	0,00	0,00
août	0	0,00	0,00
septembre	20	419,61	29,62
octobre	31	2304,26	162,65
novembre	30	3605,84	254,53
décembre	31	3995,68	282,05
total année	265	25023,33	1766,35

### Besoins en chauffage (en kWh)



Le graphe montre que la laine Triso est très efficace puisqu'elle diminue plus les besoins en chauffage que la VMC et l'isolation murs classique. Cette solution est celle qui réduit le plus les besoins énergétiques. Cependant, ce n'est pas la solution la plus économique car le produit est cher. Sur 10 ans, cette solution est la plus rentable économiquement.

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	4123,34		
Installation	10 893,73		
Amortissement en années	2,641968752		
Coût sur 10 ans	28 557,25	Gain sur 10 ans	30 339,65
Coût sur 5 ans	19 725,49	Gain sur 5 ans	9 722,96

- **La plume**

Ce nouvel isolant répond aux exigences HQE en valorisant les performances de plumes. Naturel et recyclable, il a de hautes qualités thermiques (vérifiées par le centre scientifique et technique du bâtiment) et ce quelque soit l'humidité. Il régule l'hygrométrie et laisse respirer l'habitat. Les rouleaux sont composés de 70% de plumes de volaille, 20% de fibres de textiles et de 10% de laine de mouton. Il existe 2 de types d'isolants : l'un pour le toit et l'autre pour les murs. La combinaison optimale

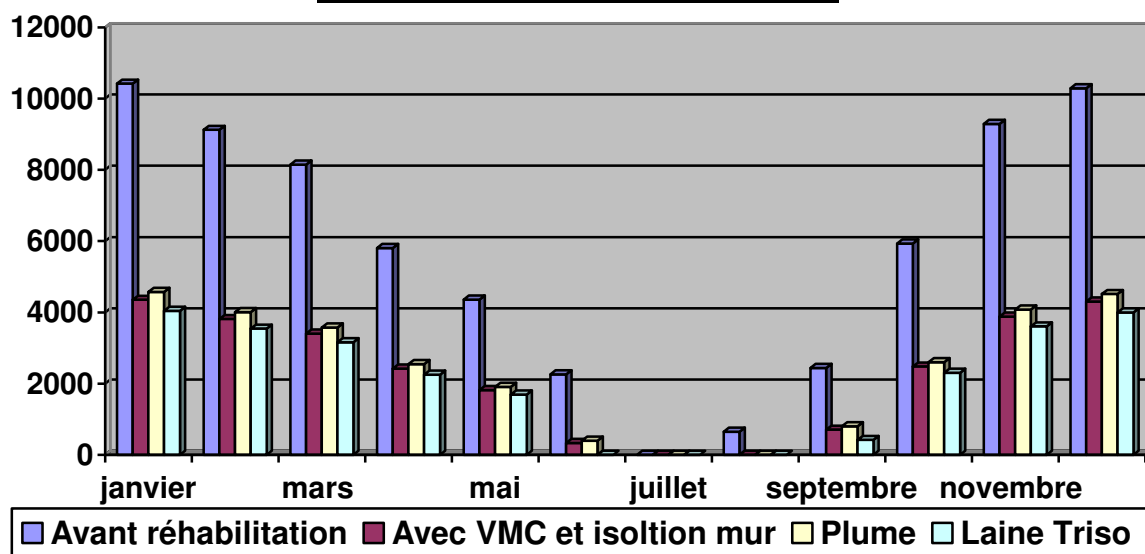
est l'application d'une couche de 10 cm de plume sur les rampants et 8 cm sur les murs. Dans ces conditions, les résultats sont les suivants :

## Bilan

<b>Ubat (W/m².K)</b>	<b>Uref (W/m².K)</b>
<b>0,700087937</b>	<b>0,533895892</b>

	<b>N jours de chauffage Njc</b>	<b>Besoins chauffage Qh (kWh)</b>	<b>Coût mensuel en €</b>
janvier	31	4571,40	322,69
février	28	4003,88	282,63
mars	31	3573,99	252,28
avril	30	2547,11	179,80
mai	31	1911,67	134,94
juin	19	395,59	27,92
juillet	0	0,00	0,00
août	0	0,00	0,00
septembre	26	804,29	56,77
octobre	31	2604,30	183,83
novembre	30	4075,38	287,67
décembre	31	4515,99	318,78
total année	288	29003,59	2047,31

### Besoins en chauffage (en kWh)



La plume est moins efficace que la VMC associée à une isolation des murs classique, ni à la laine Triso. Néanmoins, cette solution est la plus rentable sur 5 ans avec un gain de 9 859 €, elle correspond donc le mieux aux attentes du client :

Prix de ref annuel	5889,69		
Economie annuelle	3842,38		
Installation	9 352,43		
Amortissement en années	2,434021157		
Coût sur 10 ans	29 825,55	Gain sur 10 ans	29 071,35
Coût sur 5 ans	19 588,99	Gain sur 5 ans	9 859,46

Remarquons que sur 10 ans, les solutions écologiques tendent à rejoindre les solutions classiques du point de vue du gain financier. Cette observation souligne l'importance de développer ces matériaux nouveaux.



## **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 françaises 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 :

- en terme de surconsommation énergétique.
- environnemental.
- économique.

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 nouvelles méthodes et de nouveaux matériaux s'imposent sur le marché. Ces changements sont importants surtout en ce qui concerne les matériaux écologiques qui visent à une protection de l'environnement et qui à long terme sont presque aussi rentables que les matériaux classiques.