

# Notes techniques et réflexions

## Coûts des premières rénovations « basse consommation » en France Perspectives

Auteur : Thierry RIESER et Olivier SIDLER

Mars 2010



*Ingénierie énergétique*  
26160 FELINES S/RIMANDOULE  
TEL & FAX : (33) 04.75.90.18.54  
*email : [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)*  
*Web : [www.enertech.fr](http://www.enertech.fr)*

# Coûts des premières rénovations « basse consommation » en France

## Perspectives

Nous avons procédé à une analyse économique des premiers bâtiments rénovés à « basse consommation » à Mulhouse (2005-2007) afin de déterminer combien avaient coûté ces opérations, qu'est-ce qui revenait le plus cher, et comment réduire ces coûts. Nous avons ensuite rapproché ces résultats d'autres opérations de rénovation plus récentes afin d'examiner les tendances.

### A. Méthodologie utilisée

#### 1. Objet de l'étude

Cette analyse des coûts des opérations de rénovation à Mulhouse a pour but de distinguer les travaux réalisés pour améliorer la performance énergétique des travaux d'entretien ou d'amélioration du confort sans impact énergétique.

De plus, le cahier des charges de ces opérations étant basé sur une obligation de moyens, fondée sur la Solution Technique Universelle (STU) qui est une méthode d'intervention simplifiée que nous avons proposée en 2004, nous avons distingué les coûts directement liés à ce cahier des charges et les coûts liés à la performance énergétique mais ne figurant pas dans les obligations de moyen.

#### 2. Liste des postes retenus et limites de prestations

La liste des postes étudiés est présentée dans le tableau ci-dessous :

Obligation de moyens (STU)	Limites de prestations
Isolation des murs - résistance thermique additionnelle de 4.3 m <sup>2</sup> .K/W.	<u>Compris</u> : doublage placo intérieur, enduit sur isolant extérieur, isolation entre communs et logements le cas échéant. <u>Non compris</u> : peinture intérieure, échafaudage extérieur
Isolation du plancher bas - résistance thermique additionnelle de 4.3 m <sup>2</sup> .K/W.	<u>Compris</u> : fixations <u>Non compris</u> : -
Isolation de la toiture - résistance thermique additionnelle de 7.5 m <sup>2</sup> .K/W pour les toitures terrasse et 4.3 m <sup>2</sup> .K/W pour les rampants.	<u>Compris</u> : faux plafond horizontal et en rampant <u>Non compris</u> : -
Mise en place de menuiseries triple vitrage sur châssis bois massif si l'isolation des murs est réalisée par l'intérieur ; double-vitrage peu émissif à lame d'argon si l'isolation des murs est extérieure.	<u>Compris</u> : dépose des menuiseries existantes <u>Non compris</u> : menuiseries des parties communes non chauffées, réfection des occultations (volets...)
Mise en place d'une ventilation double-flux avec échangeur de chaleur d'une efficacité minimale de 70%.	<u>Compris</u> : système complet (ventilateurs, échangeur, réseau commun et en logement, bouches de soufflage et de reprise), faux plafonds créés pour le réseau de soufflage. <u>Non compris</u> : -
Mise en place d'une production de chaleur performante : pompe à chaleur avec COP moyen >3, chaudière à condensation avec réseau d'eau à basse température, chaudière bois.	<u>Compris</u> : régulation, fumisterie <u>Non compris</u> : équipements de chaufferie (pompes, vase d'expansion, etc...), distribution de chauffage.
Mise en place d'une régulation performante : régulation centrale et régulation terminale non par robinets thermostatiques, mais par des systèmes à réponse rapide (type vanne à moteur électrothermique).	<u>Compris</u> : thermostats d'ambiance, corps de vanne et actionneur (vanne électrothermique ou robinet thermostatique le cas échéant), alimentation électrique et liaison filaire le cas échéant. <u>Non compris</u> : émetteurs (radiateurs, ...)

Autres travaux liés à l'énergie	Limites de prestations
Portes isolantes	<u>Compris</u> : dépose des portes existantes, seuil pour l'étanchéité à l'air <u>Non compris</u> : portes des communs non isolantes
Installation de chauffage hors STU	<u>Compris</u> : alimentation gaz de la chaufferie, équipements de chaufferie (pompes, vase d'expansion, etc...), distribution et émetteurs <u>Non compris</u> : éléments déjà comptés précédemment
Installation ECS hors solaire	<u>Compris</u> : ballon ECS, appoint (pompes, échangeur...) <u>Non compris</u> : installation solaire
Installation ECS solaire	<u>Compris</u> : capteurs et leurs supports, liaison solaire, module de transfert, ballon solaire <u>Non compris</u> : appoint
Maîtrise de la demande en électricité	Sans objet (pas de données)

Rénovation non liée à l'énergie	Exemples de prestations
Autres travaux réalisés	Travaux de peinture intérieure et extérieure (sauf isolation par l'extérieur), échafaudages, équipements sanitaires, carrelages, revêtements de sols, cloisons de distribution, portes intérieures...

La philosophie retenue pour le choix de ce qui est compté ou non en rénovation liée à l'énergie se base sur ce qui aurait été fait dans le cadre d'une rénovation sans objectif de performance énergétique.

On note que l'échafaudage n'est pas compté comme dépense liée à l'isolation extérieure. En effet cette isolation et son enduit (pris en compte) apportent un aspect de façade qui aurait nécessité, si l'on n'avait pas isolé le mur par l'extérieur, un ravalement de façade avec mise en place d'un échafaudage. En ce qui concerne la division entre la chaudière, sa régulation et sa fumisterie (typiquement le conduit ventouse d'une chaudière à condensation) et le reste des installations de chauffage, l'idée est de séparer ce qui relève du gros entretien d'une chaufferie existante (poste P3) de ce qui relève directement de l'amélioration de la performance et de la mise en adéquation de la puissance installée avec le niveau d'isolation après rénovation.

De même, les émetteurs (radiateurs) ne sont pas comptés avec la régulation terminale, car il est toujours possible de réutiliser les émetteurs existants : en effet le fait de surisoler les logements permet de diminuer les déperditions et donc d'émettre la chaleur nécessaire avec un régime de température plus bas qui est alors adapté à une chaudière à condensation par exemple. Le remplacement des émetteurs est donc une décision liée soit à la vétusté des radiateurs existants, et l'on retombe alors dans le gros entretien, soit à des considérations esthétiques ou d'aménagement intérieur, qui ne relèvent pas de la performance énergétique.

Le poste maîtrise de la demande en électricité (MDE) n'est pas pris en compte faute de données. Cependant d'autres études de coût réalisées nous ont montré que ce poste avait un impact très faible sur le coût des opérations (prise commandée pour le poste audiovisuel, fourniture de lampes basse consommations dans les logements, éclairage performant des communs...), le plus souvent inférieur à 5 € HT /m<sup>2</sup>.

On note qu'il n'y a pas de poste dédié à l'étanchéité à l'air. En effet, ces opérations ont été réalisées en 2006, et il avait été décidé de se borner à réaliser une bonne étanchéité entre menuiseries et murs. Cela dit, sur les opérations que nous suivons actuellement, ce poste a un impact financier très faible (pour un impact énergétique très important !)

### 3. Mode opératoire

Pour réaliser cette étude, nous avons repris les DPGF des pièces marché, dont nous avons ventilé chaque ligne vers les catégories de travaux liés à l'énergie listées ci-dessus.

Le montant des travaux non liés à l'énergie a été obtenu par différence entre le montant total des travaux et le montant des travaux liés à l'énergie.

Nous avons tiré de ces montants par postes différents indicateurs :

- Prix rapporté à la surface habitable (SHAB),
- Prix au logement,
- Eléments complémentaires permettant d'expliquer certains niveaux de prix, notamment prix des menuiseries triple vitrage rapporté au m<sup>2</sup> de menuiserie, prix de la régulation terminale par logement...

## B. Résultats de l'étude

### 1. Coût de la STU

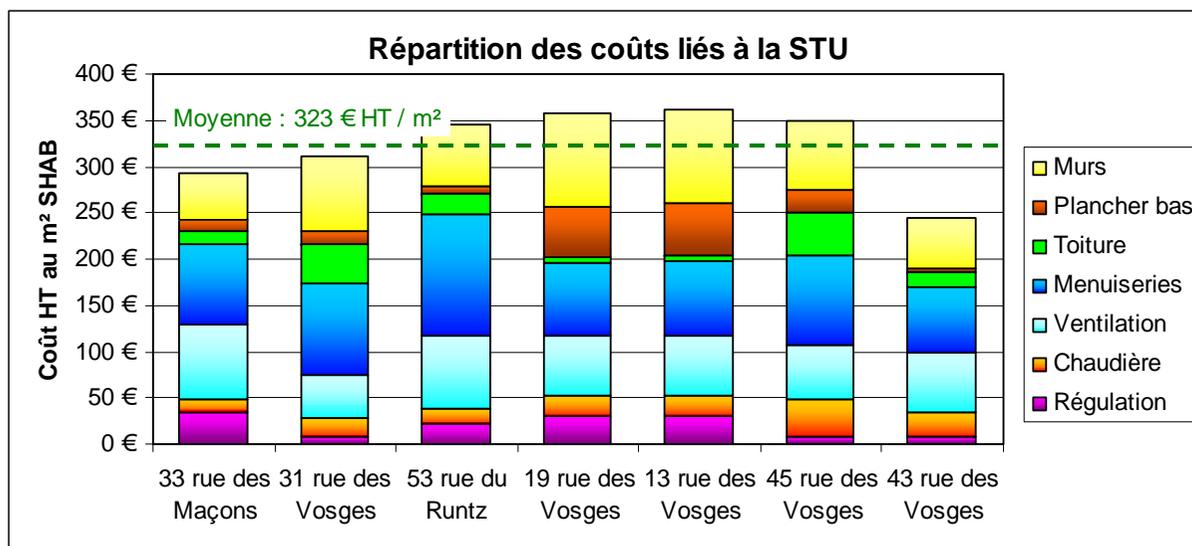
Les tableaux suivants présentent les prix constatés poste par poste. On note que certaines prestations ne répondent pas totalement aux obligations de moyens : nous les avons mises en évidence en rouge pour faciliter l'interprétation des écarts de prix.

Notations : ITI : isolation thermique par l'intérieur – ITE : isolation thermique par l'extérieur – R : résistance thermique en m<sup>2</sup>.K/W – U<sub>w</sub> : performance de la menuiserie complète (vitrage + cadre) en W/m<sup>2</sup>.K – VDF : ventilation double flux

	Opérations	33 rue des Maçons	31 rue des Vosges	53 rue du Runtz	19 rue des Vosges	13 rue des Vosges	45 rue des Vosges	43 rue des Vosges
	SHAB en m <sup>2</sup>	203.57	183.62	177.92	123.8	122.35	111.95	111.27
	Nombre de logements	5	3	3	2	2	2	2
<b>Obligation de moyens (STU)</b>								
Isolation des murs - résistance thermique additionnelle de 4.3 m <sup>2</sup> .K/W.	Travaux réalisés	ITI R=4,3 + ébrasements ITI sur communs	ITI R=4,2 - ITE côté cour - ITI sur communs	ITI R=4,3 + ébrasements	ITI R=3,75 côté rue - ITE R=4,47 côté cour	ITI R=3,75 côté rue - ITE R=4,47 côté cour	ITI R=4,2 ITI sur communs	ITI LR 150mm + ébrasements
	Coût HT	10 189 €	14 749 €	11 913 €	12 447 €	12 446 €	8 378 €	6 013 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	50 €	80 €	67 €	101 €	102 €	75 €	54 €
Isolation du plancher bas - résistance thermique additionnelle de 4.3 m <sup>2</sup> .K/W.	Travaux réalisés	Plaf. susp. R=4,3 Sous chape R=2,6	Hourdis PSE R=4,7 Plaf. susp. R=4,7	Plafond suspendu R=4,3 Chape isolante	Plancher haut du RdC / sous-sol R=3,76	Plancher haut RdC R=3,75	Hourdis PSE R=4,7 Plaf. susp. R=4,7	200mm LR sur plafond suspendu RdC
	Coût HT	2 187 €	2 808 €	1 448 €	6 857 €	6 857 €	2 741 €	575 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	11 €	15 €	8 €	55 €	56 €	24 €	5 €
Isolation de la toiture - résistance thermique additionnelle de 7.5 m <sup>2</sup> .K/W pour les toitures terrasse et 4.3 m <sup>2</sup> .K/W pour les rampants.	Travaux réalisés	R=7,5 plafond suspendu ou en combles	R=4,7 rampant et R=7,05 en comble	Plafond suspendu R=4,3	R=7,5	R=7,5	R=4,7 rampant et R=7,05 en comble	R=7,5
	Coût HT	3 039 €	7 700 €	3 813 €	630 €	630 €	5 236 €	1 796 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	15 €	42 €	21 €	5 €	5 €	47 €	16 €
Menuiseries triple vitrage si ITI double-vitrage peu émissif à lame d'argon si ITE.	Travaux réalisés	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1	Triple Uw=1,1
	Coût HT	17 710 €	18 054 €	23 522 €	9 957 €	9 957 €	10 958 €	7 825 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	87 €	98 €	132 €	80 €	81 €	98 €	70 €
Ventilation double flux avec échangeur de chaleur d'une efficacité minimale de 70%.	Travaux réalisés	VDF	VDF	VDF	VDF	VDF	VDF	VDF
	Coût HT	16 405 €	8 572 €	13 972 €	7 840 €	7 840 €	6 442 €	7 118 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	81 €	47 €	79 €	63 €	64 €	58 €	64 €

Produit chaleur performante (pompe à chaleur avec COP moyen >3, chaudière à condensation avec réseau d'eau à basse température, chaudière bois).	Travaux réalisés	Chaudière Gaz à condensation 15 kW	Chaudière Gaz à condensation 35 kW *	Chaudière Gaz à condensation 15 kW	Chaudière Gaz à condensation 15 kW	Chaudière Gaz à condensation 15 kW	Chaudière Gaz à condensation 35 kW *	Chaudière Gaz à condensation 24 kW
	Coût HT	2 910 €	3 855 €	2 910 €	2 910 €	2 910 €	4 486 €	2 910 €
	Coût HT au m² SHAB	14 €	21 €	16 €	24 €	24 €	40 €	26 €
Régulation centrale et régulation terminale par des systèmes à réponse rapide	Travaux réalisés	1 thermostat et 1 vanne électro-thermique par pièce	Robinets thermostatiques + 1 vanne par logement	1 thermostat et 1 vanne électro-thermique par pièce	1 thermostat et 1 vanne électro-thermique par pièce	1 thermostat et 1 vanne électro-thermique par pièce	Robinets thermostatiques + 1 vanne par logement	Robinets thermostatiques
	Coût HT	7 020 €	1 455 €	3 900 €	3 635 €	3 635 €	970 €	998 €
	Coût HT au m² SHAB	34 €	8 €	22 €	29 €	30 €	9 €	9 €
Total STU	Coût HT	59 460 €	57 193 €	61 477 €	44 276 €	44 275 €	39 211 €	27 235 €
	Coût HT au m² SHAB	292 €	311 €	346 €	358 €	362 €	350 €	245 €
	Coût HT au logement	11 892 €	19 064 €	20 492 €	22 138 €	22 138 €	19 606 €	13 618 €

\* Chaudière installée au 31 rue des Vosges et au 45 rue des Vosges : la chaudière installée nous semble surdimensionnée, une moins value aurait été possible.

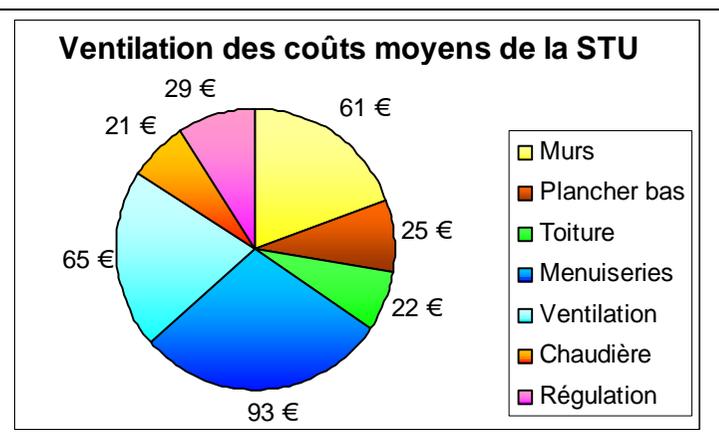


N.B. : tous les prix sont en euros courants

Le coût des travaux concernant les obligations de moyens pour la rénovation énergétique (STU) se situent entre 245 et 362 € H.T./ m<sup>2</sup>, pour une moyenne de 323 €/m<sup>2</sup> SHAB.

Les prix moyens par poste sont les suivants :

Obligation de moyens (STU)	Moyenne des 7 opérations	Moyenne des coûts respectant la STU
Isolation des murs	75 €/ m <sup>2</sup> SHAB	61 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Isolation du plancher bas	25 €/ m <sup>2</sup> SHAB	25 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Isolation de la toiture	22 €/ m <sup>2</sup> SHAB	22 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Menuiseries triple vitrage	93 €/ m <sup>2</sup> SHAB	93 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Ventilation double flux	65 €/ m <sup>2</sup> SHAB	65 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Chaudière performante	24 €/ m <sup>2</sup> SHAB	21 €/ m <sup>2</sup> SHAB
Régulation performante	20 €/ m <sup>2</sup> SHAB	29 €/ m <sup>2</sup> SHAB
<b>Total STU</b>	<b>323 €/ m<sup>2</sup> SHAB</b>	<b>315 €/ m<sup>2</sup> SHAB</b>



On constate pour l'ensemble des opérations que le coût le plus important est consacré aux menuiseries triple vitrage. Il s'agit pourtant de triples vitrages « à la française », c'est à dire de triple vitrage sur un cadre bois classique (et non les cadres en bois contrecollé ou isolés qui composent les menuiseries passives atteignant  $U_w=0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Il s'agit en effet d'une des premières opérations mettant en œuvre ce type de menuiseries, qui reflète une période d'apprentissage et de structuration du marché. Le coût des menuiseries de ce type est amené à diminuer au fil du temps, même si cette diminution tarde à se produire (voir la partie VI.3.1).

Le poste suivant est l'isolation des murs, avec une disparité assez nette entre les projets ayant recours à l'isolation par l'extérieur (94 €/m<sup>2</sup> SHAB en moyenne des 3 projets concernés) et les projets intégralement en isolation par l'intérieur (61 €/ m<sup>2</sup> SHAB en moyenne des 4 projets concernés). On note que les projets mettant en œuvre une isolation par l'extérieur partielle ont été pénalisés par ce surcoût sans bénéficier de la moins value possible du passage en double vitrage si toute l'isolation des murs était traitée par l'extérieur. C'est pourquoi nous avons retenu comme coût de référence de la STU la moyenne des opérations sans isolation par l'extérieur.

La ventilation double flux est le troisième poste par son importance. On note que ce prix est plutôt élevé notamment à cause de l'échelle de ces opérations (de 2 à 5 logements). On verra en effet au § VI.3.2 que le prix moyen au logement de la ventilation double flux diminue quand la taille de l'opération augmente.

## 2. Coût des autres travaux liés à l'énergie

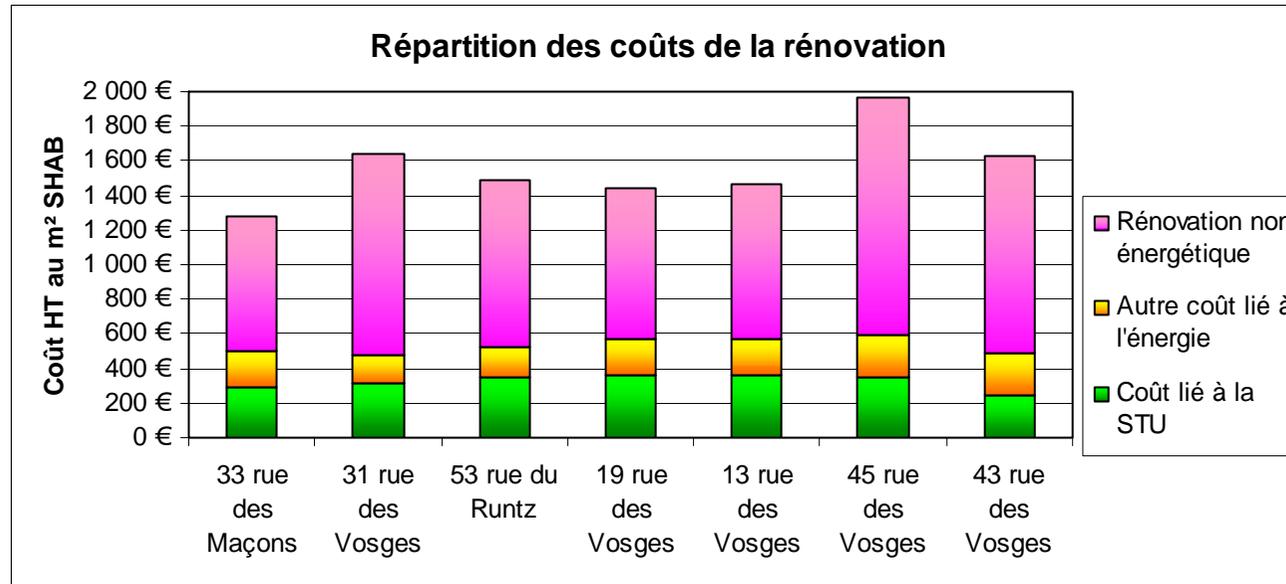
Le tableau suivant détaille les travaux réalisés pour l'amélioration de la performance énergétique hors STU :

	Opération	33 rue des Maçons	31 rue des Vosges	53 rue du Runtz	19 rue des Vosges	13 rue des Vosges	45 rue des Vosges	43 rue des Vosges
	SHAB en m <sup>2</sup>	203.57	183.62	177.92	123.8	122.35	111.95	111.27
	Nombre de logements	5	3	3	2	2	2	2
<b>Coût lié à l'énergie hors STU</b>								
Portes isolantes		3 219 €	4 348 €	3 873 €	2 800 €	2 800 €	4 505 €	3 125 €
Installation de chauffage hors STU		21 052 €	15 777 €	10 294 €	10 424 €	10 424 €	11 486 €	11 957 €
Installation ECS hors solaire		9 809 €	2 632 €	7 331 €	6 160 €	6 160 €	5 107 €	5 486 €
Installation ECS solaire		9 270 €	8 298 €	9 222 €	6 690 €	6 690 €	6 278 €	5 915 €
Maîtrise de la demande en électricité		NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
<b>Total</b>	Coût HT total	43 350 €	31 055 €	30 720 €	26 074 €	26 074 €	27 376 €	26 483 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	213 €	169 €	173 €	211 €	213 €	245 €	238 €
	Coût HT au logement	8 670 €	10 352 €	10 240 €	13 037 €	13 037 €	13 688 €	13 241 €

## 3. Coût des travaux non liés à l'énergie

Le coût total des travaux ne concernant par l'amélioration de la performance énergétique est présenté dans le tableau suivant :

	Opération	33 rue des Maçons	31 rue des Vosges	53 rue du Runtz	19 rue des Vosges	13 rue des Vosges	45 rue des Vosges	43 rue des Vosges
	SHAB en m <sup>2</sup>	203.57	183.62	177.92	123.8	122.35	111.95	111.27
	Nombre de logements	5	3	3	2	2	2	2
<b>Coût non lié à l'énergie</b>								
<b>Total</b>	Coût HT	156 531 €	213 489 €	172 194 €	108 695 €	109 070 €	153 820 €	127 168 €
	Coût HT au logement	31 306 €	71 163 €	57 398 €	54 348 €	54 535 €	76 910 €	63 584 €
	Coût HT au m <sup>2</sup> SHAB	769 €	1 163 €	968 €	878 €	891 €	1 374 €	1 143 €
<b>Coût total de l'opération</b>	Coût HT	259 341 €	301 737 €	264 391 €	179 045 €	179 419 €	220 407 €	180 886 €



*Figure 1 : Graphique de la répartition des coûts totaux des opérations de rénovation*

La STU représente entre 15 et 25% du coût total de la rénovation. Les travaux liés à l'énergie représentent entre 30 et 40% du coût total. Ces ratios n'ont guère de signification car ils dépendent de la nature des travaux complémentaires. A Mulhouse, les travaux complémentaires ont été importants puisqu'il s'agissait de rénovation très lourdes.

## C. Enseignements et perspectives

### 1. Menuiseries triple vitrage

Nous avons vu que les menuiseries triple vitrage constituent le coût le plus important de la STU. Il faut rappeler que l'on ne parle pas ici de menuiseries passives à cadre isolant, mais de triple vitrage « à la française » sur cadre bois massif sans rupteur de ponts thermiques.

Les niveaux de prix au m<sup>2</sup> de menuiserie sont assez élevés, avec **473 €/m<sup>2</sup>**<sub>tableau</sub> :

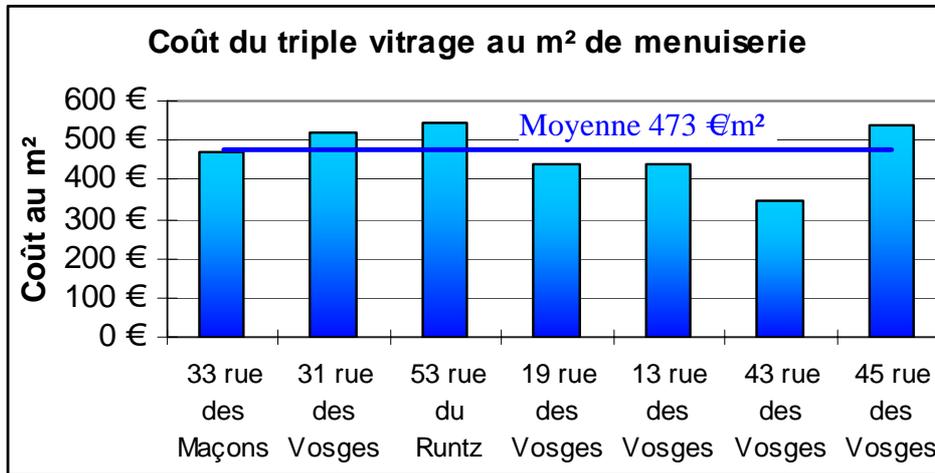


Figure 2 : Prix des menuiseries triple vitrage cadre bois massif au m<sup>2</sup> de menuiserie

Ce niveau de prix et l'impact qu'il a sur le coût global de la rénovation énergétique nous incite à rechercher des solutions pour atteindre le même niveau de performance sans triple vitrage. Le niveau de prix pratiqué actuellement risque donc de « tuer dans l'œuf » le développement du marché français. Il n'est pas légitime, et partant de là pas acceptable. **On se passera dorénavant de triple vitrage si les prix restent à ce niveau illégitime....**

Dans un marché réellement ouvert, on devrait observer une diminution du prix du triple vitrage avec la généralisation de son utilisation. Mais l'évolution actuelle n'est pas encourageante :

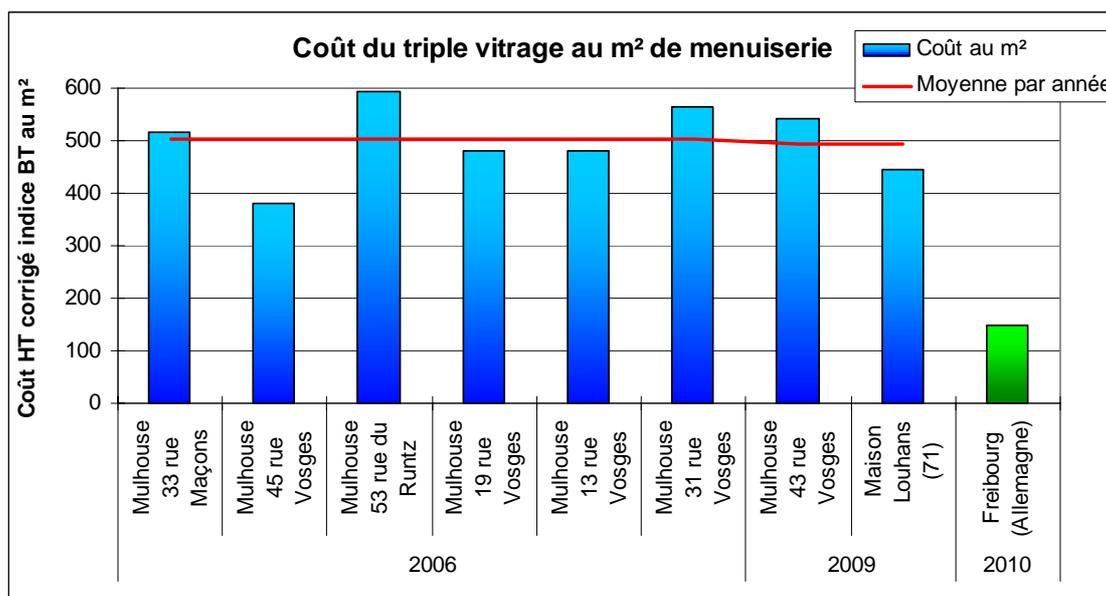


Figure 3 : Evolution des prix (corrigés de l'indice BT nov 2009) du triple vitrage sur bois massif à Mulhouse et pour une opération en Bourgogne - Comparaison avec le marché allemand (PVC)

On constate un décalage très important entre les prix pratiqués en France et les prix les plus compétitifs en Allemagne (triple vitrage sur cadre PVC). Nous avons contacté le fournisseur en question, et il se déclare prêt à venir travailler en Alsace pour une opération de taille suffisamment importante. Ceci doit constituer un avertissement pour les menuisiers français : avec le développement de la demande en France, les constructeurs européens vont être intéressés par le marché français. S'ils n'adaptent pas leur niveau de prix, les menuisiers français auront à faire face à une rude concurrence.

#### Enseignements à en tirer :

Alerter la filière de la menuiserie triple vitrage que le niveau de prix actuel du marché français est surévalué de manière dangereuse et qu'il ne pourra pas soutenir la concurrence européenne.

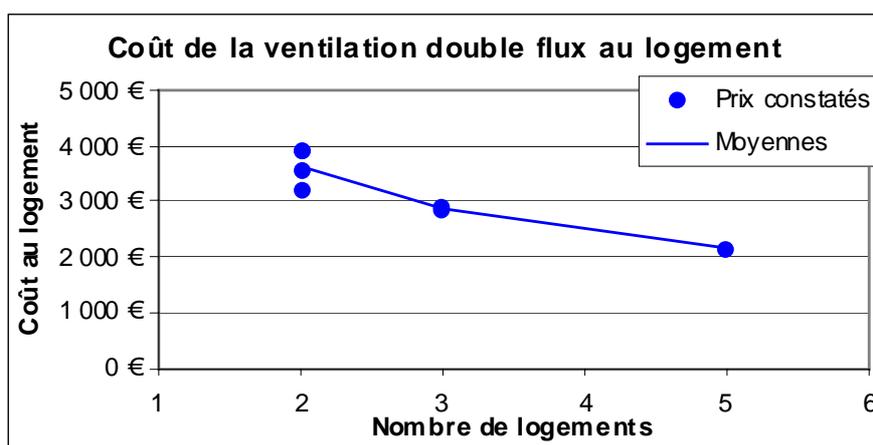
La filière française risque de tuer dans l'œuf le marché du triple vitrage en maintenant un prix trop élevé.

Affiner la STU pour développer les possibilités de variantes permettant de se passer de triple vitrage à performance égale (traitement des ponts thermiques, travail sur l'étanchéité à l'air...)

## 2. Ventilation double flux

La ventilation double flux performante arrive en deuxième par l'importance du coût dans la rénovation énergétique.

Il est intéressant de noter que le prix constaté au logement décroît avec la taille de l'opération :



*Figure 4 : Coût de la ventilation double flux rapporté au nombre de logements*

NB : pour des opérations plus importantes, le coût global au logement de la VMC double flux collective peut augmenter de nouveau, notamment à cause du coût des carottages de dalles.

Ce coût nous semble tout à fait justifié par le double impératif d'assurer d'une part une qualité de l'air intérieur au logement minimale, que ne permet pas la ventilation simple flux hygroréglable, et d'autre part de récupérer les calories sur l'air extrait pour atteindre le niveau de performance fixé (facteur 4 sur le secteur du bâtiment).

#### Enseignements à en tirer :

Le principe de la ventilation double flux est à maintenir dans la STU.

Des pistes d'optimisation du coût sont à rechercher, notamment par la ventilation double flux décentralisée.

### 3. Régulation terminale performante

Sur l'ensemble des opérations suivies à Mulhouse, plusieurs types de régulation terminale ont été mises en place. Le tableau suivant propose un comparatif technique et économique des trois solutions testées :

Type de régulation	Schéma	Précision de la régulation	Prix moyen constaté
Un thermostat et une vanne électrothermique par pièce		Dépassement moyen de consigne : 0,1 à 0,5°C selon la nature du thermostat	29 €HT / m <sup>2</sup> SHAB 1585 €HT par logement
Robinetts thermostatiques + une vanne électrothermique par logement		Dépassement moyen de consigne : à déterminer par mesure. Ecart max de T° entre les pièces : le même que pour une chaudière à gaz en logement individuel avec thermostat M/A dans le séjour et robinets thermostatiques dans les pièces.	8 €HT / m <sup>2</sup> SHAB 485 €HT par logement (le coût moyen dans l'échantillon est < à celui de la solution suivante (pourtant plus simple)
Robinetts thermostatiques		Dépassement moyen de consigne : de 2 à 4°C selon l'importance de la bande de réglage	8 €/ m <sup>2</sup> SHAB 499 €HT par logement

#### Enseignements à en tirer :

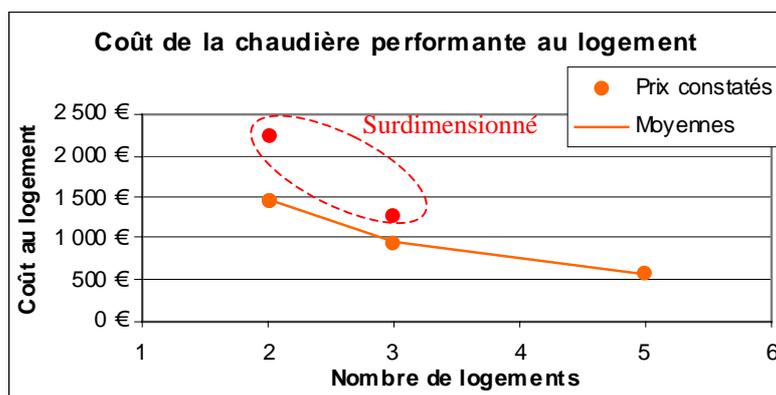
La mesure de l'homogénéité des températures dans un logement équipé de ventilation double flux a montré des écarts faibles entre les pièces. On peut donc envisager que la régulation se fasse logement par logement avec un thermostat par logement actionnant une vanne électrothermique située à l'entrée du logement. Les robinets thermostatiques sont conservés pour permettre à l'utilisateur de baisser la consigne (par exemple dans les chambres). Dans le bâtiment neuf ils sont nécessaire pour répondre à la réglementation qui demande une régulation terminale par pièce. Dans la rénovation, on peut même envisager de ne mettre en place que des robinets simple réglage. Il restera à évaluer les performances de ce système (celui avec vanne s/thermostat + robinets thermostatiques) qui revient à reposer sur les robinets thermostatiques, système peu précis et peu efficace s'il en est.

Attention, cette analyse n'est pas du tout valable en ventilation simple flux, où les écarts de températures entre les pièces est plus important. C'est un argument de plus pour conserver le principe de la ventilation double flux dans la STU.

La modification proposée de la STU permettrait une économie importante (21 €/m<sup>2</sup> ou 1100 €/logement).

### 4. Production de chaleur performante

Les opérations suivies à Mulhouse ont toutes mis en œuvre des chaudières Gaz à condensation collectives. Les coûts sont assez hétérogènes : de 582 €par logement à 2243 €par logement. Comme pour la ventilation double flux, et de façon assez logique, le coût au logement décroît quand la taille de l'opération augmente :



**Figure 5 : Coût au logement des chaudières à condensation – moyenne sur les chaudières non excessivement surdimensionnées**

On note que les opérations où la chaudière nous semble surdimensionnée présentent un coût au logement nettement plus élevé que les autres. On a vu au § II.5 tous les inconvénients qu'il y avait à surdimensionner les générateurs de chaleur et les équipements qui l'entouraient.... On confirme ici le rôle pénalisant de ce surdimensionnement d'un point de vue économique.

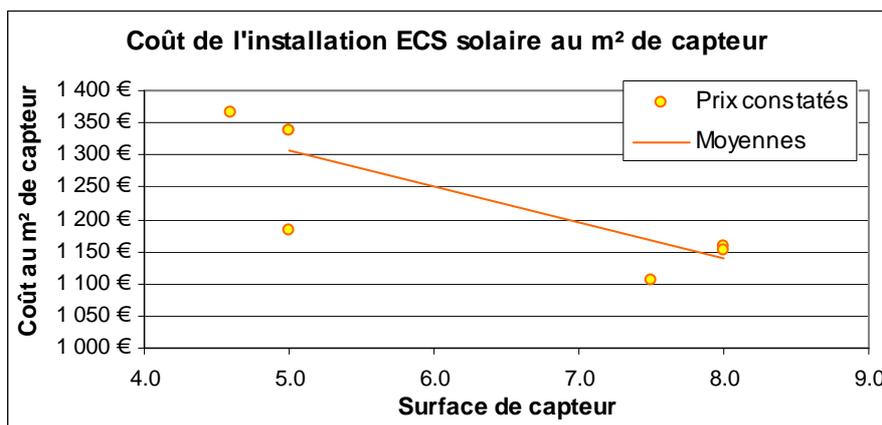
Enseignements à en tirer :

Eviter à tout prix le surdimensionnement des générateurs. Réaliser le calcul des déperditions sans surpuissance.

### 5. Installation solaire

Bien que non comprise dans les obligations de moyens de la STU, les installations d'ECS solaire sont courantes dans les rénovations énergétiques.

Les niveaux de prix observés sont assez hétérogènes, comme le montre le graphique ci-dessous :



**Figure 6 : Coût des installations solaire au m² de capteur en fonction de la surface de capteur**

Mais ces prix sont beaucoup trop élevés par comparaison à ce qui se fait ailleurs en France où les prix sont en général inférieurs à 1000 €/m². On observe donc que certains installateurs pratiquent des prix plus élevés sans réelle justification technique. Et de surcroît on a vu que les installations ne fonctionnaient pas correctement dès la première année.... On peut soupçonner ce phénomène d'être lié aux subventions sur les installations solaires qui rendent acceptables par les clients ces niveaux de prix.

Enseignements à en tirer :

Alerter les installateurs de systèmes solaires : les prix pratiqués notamment sur les opérations de petite taille nous semblent exagérés. Attention à ne pas tuer dans l'œuf le marché du solaire thermique en France.

Alors que les prix du solaire thermique augmentent, les prix du solaire photovoltaïque diminuent en permanence. On pourrait presque dire de manière un peu provocante qu'il sera bientôt pertinent de générer l'ECS par des ballons électriques décentralisés alimentés en direct par des photopiles...

### 6. Perspectives d'évolution des prix

Les opérations de rénovation de Mulhouse ont été les premières réalisations à ce niveau de performance en France.

Elles ont été suivies d'autres opérations, pour lesquelles nous avons appliqué la même méthodologie d'études de coûts. En ayant soin de ramener tous les prix à la même date (ici Nov 2009), on observe que les prix diminuent d'année en année. Ceci montre que les opérations de Mulhouse ont été des opérations pilotes, qui ont payé un certain prix **d'apprentissage** qui ne se reproduira pas sur les rénovations en cours et futures.

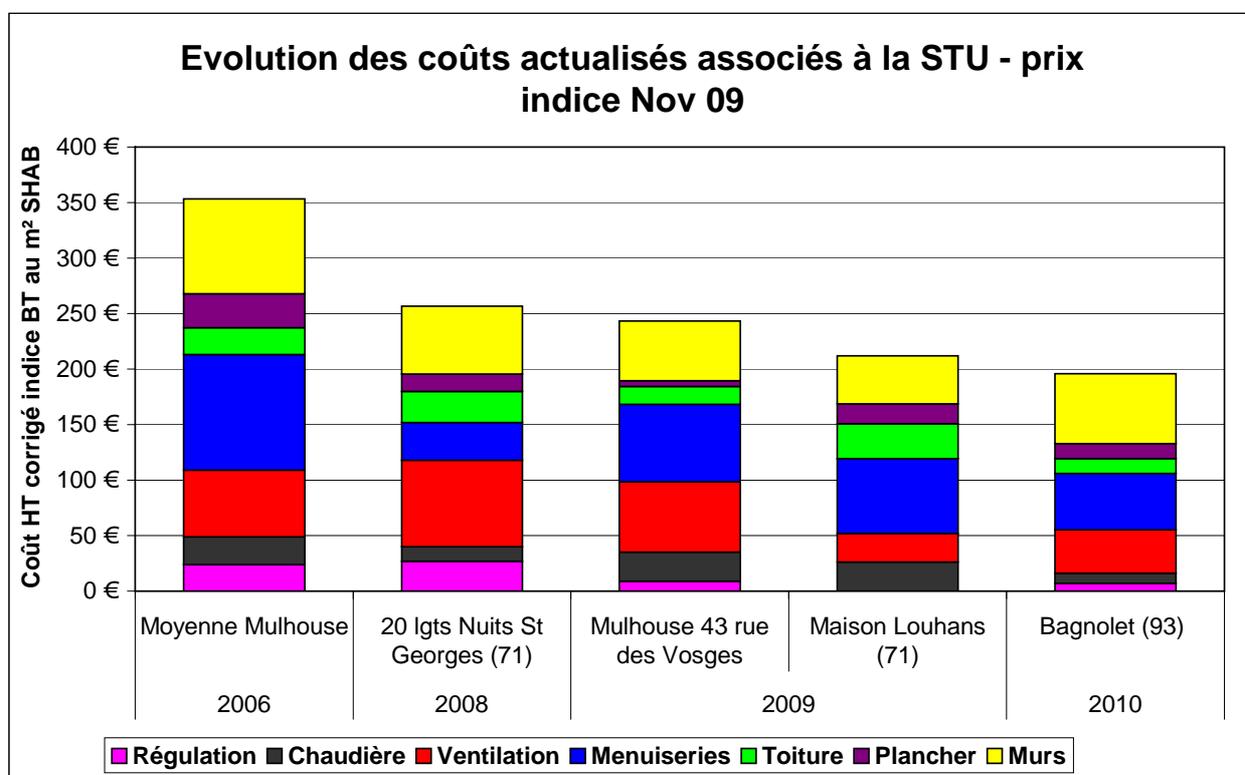


Figure 7 : Evolution, entre 2006 et 2009, des prix au m² SHAB (corrigé de l'indice BT nov 2009) de la STU à Mulhouse, en Bourgogne et en Région parisienne

Description sommaire des opérations de Bourgogne citées ci-dessus :

Opération	Nuits St Georges	Maison à Louhans
SHAB en m <sup>2</sup>	1471 m <sup>2</sup>	116 m <sup>2</sup>
Nombre de logements	20	1
R murs ext	ITE PSE graphité 150mm R=4,69	ITI R=6,5
R pl. bas	Laine / PSE R=4,3 Flocage des retombées de poutres	R=5 sous dalle
R toiture	Polyuréthane R=7,5	R=7,5
Vitrages	Double vitrage Uw=1,6 classé A4	Triple vitrage Uw=1,1 classé A4
Ventilation	Ventilation double flux collective avec échangeurs individuels	Ventilation double flux
Chauffage	Chaudière Gaz à Condensation modulante 116 kW	PAC géothermique => nous avons compté le prix d'une chaudière Gaz à condensation pour permettre la comparaison
Emission	Radiateurs	Radiateurs très basse température
Régulation terminale	1 thermostat et 1 vanne électrothermique par pièce	1 thermostat et 1 vanne électrothermique par pièce
ECS	Solaire (non compté dans la STU) appoint Gaz	Par la génération de chauffage

**Ces résultats nous semblent tout à fait encourageants. Après la période actuelle d'apprentissage, le prix de la STU devrait se situer sous le niveau des 200 € HT / m<sup>2</sup> SHAB et tendre vers 180 € HT / m<sup>2</sup> SHAB, voire moins, avec les optimisations économiques proposées ■**

# Conclusion

L'analyse économique qui a été faite sur le coût des différentes opérations montre que, comme on l'avait prévu, l'opération de Mulhouse apparaît comme le point de départ d'une courbe d'apprentissage des savoir-faire et des techniques. En conséquence son coût est élevé : **315 € HT/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**. Il est certain que si ce prix était un prix de marché en équilibre, cela pourrait faire craindre pour la suite du grand programme de rénovation nationale. Mais il n'en est rien. Les opérations qui ont suivi celles de Mulhouse ont montré qu'on pouvait déjà atteindre des coûts de rénovation de l'ordre de **200 € HT/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**. Ceci montre que l'analyse faite initialement est juste : **le coût de la rénovation à basse consommation sera situé demain entre 180 et 200 € HT/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**. Mais surtout il apparaît d'ores et déjà des secteurs d'amélioration importante qu'il va falloir rapidement expérimenter sur d'autres opérations. Le triple vitrage s'imposait au regard de toutes les simulations dynamiques faites depuis plusieurs années. Mais les menuisiers et/ou les entreprises qui le mettent en oeuvre semblent en avoir décidé autrement en imposant des prix parfaitement illégitimes. **Si ces prix ne sont pas modifiés dans un futur proche, on abandonnera le triple vitrage comme solution de référence dans la rénovation thermique et on privilégiera plutôt l'amélioration de l'étanchéité à l'air des enveloppes capables de fournir une amélioration des performances au moins aussi importante et pour un coût beaucoup plus faible.**

D'autres améliorations seront probablement apportées à l'émission de chaleur et aux systèmes régulateurs car dans les bâtiments très isolés, le transfert de chaleur se fait très difficilement de l'intérieur vers l'extérieur, mais il se fait très aisément d'une pièce à l'autre. Cette observation justifie de simplifier l'émission de chaleur en limitant à un, peut-être deux, le nombre d'émetteurs présents dans un logement. De la même manière les observations conduites jusqu'à présent laissent penser qu'il est illusoire dans ce type de bâtiments de pouvoir faire des régulations réellement différenciées pièce par pièce, et qu'il serait dès lors possible de n'avoir plus qu'un régulateur placé au centre du logement pour agir sur le seul émetteur encore en place. Ces propositions peuvent choquer, mais elles nous paraissent justifier au regard de toutes les expérimentations que nous avons conduites à ce jour dans des bâtiments très performants, qu'ils soient rénovés ou neufs. Leur intérêt serait de générer d'importantes moins-values consécutives aux efforts consentis sur la qualité de l'enveloppe des bâtiments. En d'autres termes, les surinvestissements qui ont été faits légitimement pour réduire les consommations de chauffage vont également induire des moins-values qui n'étaient pas imaginées au départ mais qui sont la conséquence d'un mode de fonctionnement différent des bâtiments d'un nouveau type. C'est la raison pour laquelle nous pensons que le coût de la rénovation pourrait donc baisser encore sensiblement.

Bien que le sujet n'entre pas dans le champ de la présente étude, il est nécessaire d'évoquer la question du financement des travaux de rénovation thermique. Jusqu'à présent la tendance générale observée consiste à financer ces travaux sur des durées relativement courtes de l'ordre de 10 ans, comme s'il s'agissait de travaux tout à fait ordinaires. En réalité la rénovation thermique permet à un propriétaire une forte revalorisation de son patrimoine. Il suffit de voir ce qui se passe en Suisse, pays d'avant-garde sur ces sujets, où les bâtiments thermiquement rénovés à basse consommation se vendent au moins 10 % plus chers que les bâtiments ayant par ailleurs les mêmes caractéristiques. Il s'ensuit qu'on devrait considérer ces travaux de rénovation thermique comme un investissement lourd portant sur la valorisation du patrimoine, et qui devrait donc être amorti sur une durée d'au moins 20 ans. Si on veut bien raisonner sur des durées de 20 ans, on s'aperçoit que les annuités de remboursement d'un emprunt à 4 ou 5 % sont compensées dès la première année par l'économie d'énergie induite par les travaux de rénovation. Ceci est vrai dès que le baril de pétrole dépasse 70 \$ et pour des travaux de l'ordre de 200 € HT/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>. Cette observation permet de penser que l'aide de l'État pourrait ne pas être nécessaire dans ce programme de rénovation nationale à condition bien sûr que les banques acceptent à nouveau de jouer leur rôle et s'engagent sur ce marché-là. Il nous semble que toute solution fondée sur des temps de retour plus courts, de l'ordre de 10 ans, n'est pas réaliste et ne permettra pas au marché de décoller ■

# Annexe récapitulative

## TABLEAU RECAPITULATIF DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

	13 Vosges	31 Vosges	33 Maçons	53 Runtz	37 Runtz	19 Vosges	45 Vosges
Surface habitable	122	184	201	178	188	124	111
Nombre de logement	2	3	5	3	3	2	2
Nombre de personne (total par bâtiment)	4	5	9	7	7	4	4
Système de régulation chauffage	Thermostats+ vannes électrothermiques	Thermostat central + robinets thermostatiques dans les différentes pièces	Thermostats+ vannes électrothermiques				
Marque référence ventilation	Systemair VR700EV	Lemmen's REC HR1	Systemair VR700EV	Systemair VR700EV	Systemair VR700EV	Systemair VR700EV	Lemmen's REC HR1
Consommation chauffage (besoins) (kWh/an/m²)	26,4	79,6	58,8	121,2	67,0	41,6	
Consommation ECS (besoins) (kWh./an/m²)	12,6	12,0	20,4	20,9	10,9	5,2	
Consommation ECS solaire (besoins) (kWh/an/m²)	Problème de comptage	10,0	20,7	14,3	Problème de comptage	Problème de comptage	
Taux de couverture moyen (%)		45%	50%	41%			
Puissance chaudière (KW)	15	35	15	15	?	15	35
Consommation gaz (kWh/an/m²)	72,5	102,2	102,0	148,2	Pas de relève compteur gaz Ou de compteur de chaleur		
Rendement de génération Hiver/Eté	54 / 53	90 / 81	79 / 70	96 / 92			
Taux de charge annuel de la chaudière (%)		12%	20%				
Consommation électrique services généraux (kWh/an/m²)	22,6	8,9	28,9	15,8	18,1	18,9	11,1
(kWh/an/log)	1381,0	544,7	1164,2	939,0	1134,7	1168,5	615,0
Consommation globale des services généraux (hors logements) (kWh/m²/an)	140,2	128,9	188,8	195,7			
Consommation électrique logements (kWh/an/m²)	28,5	21,8	25,5				
(kWh/an/log)	1286,5	1233,0	942,2				
Température moyenne (janvier/février)	16,8	20,8	18,2				
Température moyenne (juillet Août)	25,6	25,2	24,5				
Nombre d'heures au dessus de 28°C en juillet août	39,0	54,9	32,9				