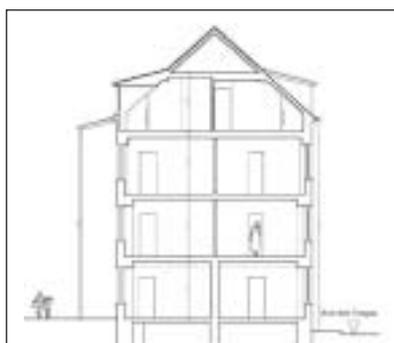


énergivie
PROGRAMME

L'Alsace dit oui aux énergies renouvelables !

Étude sur la **basse énergie** appliquée aux **bâtiments anciens**

Faisabilité technique et économique



associée
avec la



Auteur : Enertech

Juin 2005

énergivie est un programme d'actions innovatrices initié par la Région Alsace pour développer les énergies renouvelables en Alsace, avec l'ADEME et l'Union européenne.

ETUDE SUR LA « BASSE ENERGIE » APPLIQUEE AUX BATIMENTS ANCIENS

Faisabilité technique et économique

Juin 2005

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54
E mail : sidler@club-internet.fr
<http://perso.club-internet.fr/sidler>

Agence Locale de la Maîtrise de l'Energie
agglomération mulhousienne (ALME)
Contact : Estelle CHENU, Chargée de Mission
40, rue Marc Seguin
68060 Mulhouse Cedex
Tél : 03 89 32 76 96 – Fax : 03 89 32 76 95
www.alme-mulhouse.fr

Société d'Equipement de la Région
Mulhousienne (SERM)
Contact : Sophie PLAWINSKI, Chef de Projet
33, avenue de Colmar
68200 Mulhouse
Tél : 03 89 43 87 67 – Fax : 03 89 59 97 04
www.serm68.fr

AVANT-PROPOS

Les actions du programme ENERGIVIE

Parmi les 7 points du programme Energivie engagé par la Région Alsace (annexe 1), l'action 7.7 concerne l'expérimentation des énergies renouvelables et le suivi de réalisations en *basse énergie* à l'échelle de quartiers urbains sur la Communauté d'Agglomération Mulhouse Sud Alsace (CAMSA), avec une démarche prioritaire sur Mulhouse.

L'ALME est mandatée par la CAMSA pour développer l'optimisation énergétique et les énergies renouvelables à l'échelle de ce territoire. Par conséquent, elle coordonne et anime cette opération en accompagnant les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre désireux de faire émerger des bâtiments *basse énergie* et utilisant des énergies renouvelables. Ce programme sur deux ans (2004-2005) est soutenu par l'Union Européenne, la Région Alsace, l'ADEME et plus localement par l'ALME, la SERM, la CAMSA et le SIVOM de l'agglomération mulhousienne.

Faisant suite à un état des lieux à l'échelle européenne en matière de bâtiments à faible consommation d'énergie, cette étude a pour objectif d'analyser de manière approfondie les solutions techniques et économiques (isolation, ventilation, chauffage) à mettre en œuvre sur des bâtiments d'habitations anciens spécifiques du centre ville de Mulhouse, afin d'aboutir à des bâtiments *basse énergie*, dont la consommation en chauffage est inférieure à 50 kWh/m²/an. Elle examine différentes hypothèses afin d'aboutir à une solution dite "universelle" applicable à ce type de bâti, permettant d'atteindre un tel niveau de consommation.

Cette étude se base sur 2 bâtiments représentatifs, inclus dans le périmètre du Grand Projet de Ville de Mulhouse, opération de renouvellement urbain menée par la SERM. Elle constitue une phase préalable et nécessaire, qui se poursuivra par la rénovation effective avec évaluation des performances, de bâtiments en *basse énergie* au sein du Grand Projet de Ville, puis dans d'autres secteurs urbanisés de l'agglomération mulhousienne.

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE CONTEXTE, METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE TRAVAIL

INTRODUCTION : LE CONTEXTE	6
CHAPITRE 1 : LA METHODOLOGIE	9
1-1 Principes généraux et méthode	9
1-2 Le logiciel Comfi Pleiades	10
1.2.1 Présentation générale de l'outil	10
1.2.2 Calcul des rendements et des consommations	11
1.2.3 Validation du modèle	12
1.2.4 Difficultés spécifiques liées à l'évaluation du confort d'été	12
1.2.5 Conclusion	15
1-3 Les objectifs	15
CHAPITRE 2 : TYPOLOGIE DES BÂTIMENTS ETUDIES	16
2-1 Généralités	16
2-2 Caractéristiques générales des bâtiments existants	17
CHAPITRE 3 : HYPOTHESES ET PRINCIPES DE CALCUL DES SOLUTIONS EN RENOVATION	19
3-1 L'isolation du bâti	19
3-2 Le choix des menuiseries et des vitrages	21
3-3 Le renouvellement d'air	21
3-4 Les apports internes et les scénarii d'occupation	21
3-5 Energie et technologie de chauffage	23
3.5.1 L'électricité	23
3.5.1.1 Bâtiments existants	23
3.5.1.2 Bâtiments rénovés	23
3.5.2 Le gaz	23
3-6 Equivalence adoptée entre énergie primaire et finale	24
3-7 Le rendement de régulation	24
3-8 Consommation initiale des bâtiments	25
CHAPITRE 4 : METHODE D'EVALUATION ECONOMIQUE DES SOLUTIONS	26

SECONDE PARTIE : LES RESULTATS

CHAPITRE 5 : ANALYSE DES PERFORMANCES ENERGETIQUES OBTENUES	28
5-1 Introduction	28
5-2 Etude du chauffage au gaz	29
5.2.1 Cas n°1 : sans échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait	29
5.2.2 Cas n°2 : avec échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait	32
5.2.3 Quelle solution technique choisir ?	33
5-3 Etude du chauffage électrique	37
5-4 Les solutions techniques retenues sont-elles disponibles ?	40
5.4.1 L'isolation des parois verticales	40
5.4.2 L'isolation des planchers bas	40
5.4.3 L'isolation des combles	41
5.4.4 L'isolation des rampants	41
5.4.5 Les menuiseries extérieures	42
5.4.6 La VMC double flux avec récupération de chaleur	42
5.4.7 Le chauffage et les équipements techniques associés	43
5.4.8 L'étanchéité à l'air des bâtiments	45
 CHAPITRE 6 : LE CONFORT D'ETE	 46
6-1 Résultats des simulations sur le confort d'été	46
6-2 Stratégie pour assurer le confort d'été	47
6.2.1 Contrôler les apports solaires	48
6.2.2 Réduire les apports internes	48
6.2.3 Mettre en œuvre une inertie thermique importante	51
6.2.4 Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit	52
 CHAPITRE 7 : LES AUTRES ECONOMIES D'ENERGIE	 54
7-1 Maîtriser la demande d'électricité	54
7.1.1 Ce que peuvent faire les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage	54
7.1.2 Ce que peuvent faire les usagers	55
7-2 Réduire la consommation d'énergie liée à l'eau chaude sanitaire	56
7.2.1 Réduire les quantités d'eau chaude consommées	56
7.2.2 Réduire les pertes de distribution	57
7.2.3 Réduire les pertes de stockage	57
7.2.4 Réduire les pertes de tous les organes de production de chaleur	57
7.2.5 Améliorer le rendement de la production de chaleur	57
 CONCLUSION	 58
 ANNEXES	 59

Première partie

Contexte, méthodologie et hypothèses de travail

INTRODUCTION : LE CONTEXTE

Au rythme de consommation actuel, les réserves prouvées d'énergie fossile sont de 40 années pour le pétrole, 63 pour le gaz et 218 pour le charbon et 71 pour l'uranium. Si, au lieu de raisonner à consommation constante (ce qui est évidemment faux), on tient compte de l'augmentation annuelle de la demande (supposée égale à 2%/an), dans 50 ans l'ensemble des réserves prouvées sera épuisé. On découvrira bien sûr d'autres gisements (plus chers). Mais si on considère maintenant les réserves ultimes d'énergie, c'est à dire la totalité de celles que l'on pense pouvoir découvrir et extraire un jour, la croissance de la demande aura eu raison de ce gisement ultime...en 2115, soit d'ici un siècle. Il n'y aura alors plus une seule « goutte » d'énergie fossile à disposition de l'homme.

Ce délai d'un siècle, même s'il peut paraître énorme à l'échelle individuelle, n'en est pas moins ridiculement court au regard des enjeux et du problème posé. En effet, il va falloir changer nos systèmes de production et de consommation d'énergie pour s'adapter. Et ces transformations seront longues : bâtiments, machines, véhicules, sont conçus pour durer plusieurs décennies. Le choix des infrastructures (rail ou route par exemple) a des effets pendant parfois un siècle. Loin de permettre de « voir venir » les quelques décennies de ressources seront tout juste suffisantes pour opérer ces transformations lourdes qui devront en plus commencer par vaincre l'inertie de nos mentalités.

De manière paradoxale, dans ce contexte de relative pénurie, les lois du marché fonctionnent de manière peu claire. L'économie enseigne que le prix d'un bien est le reflet de sa rareté. Or même à 45 dollars le baril, le pétrole est moins cher que l'eau minérale ! Que faut-il en conclure ? Les outils qui régulent si bien la vente en supermarché ne fonctionnent plus de manière satisfaisante dès qu'il s'agit de l'énergie...L'économie nous envoie un signal brouillé quant à la rareté des énergies fossiles, ce qui ne permet pas aux opérateurs d'agir comme pour une pénurie de sucre ou d'eau minérale, c'est à dire en anticipant.

La première conclusion face à la raréfaction des ressources est que, malgré les apparences, on dispose de peu de temps pour trouver de nouvelles solutions et s'adapter à cette situation de pénurie.

La seconde observation qui s'impose concerne la localisation géographique des ressources d'énergie fossiles. Ces ressources se trouvent réparties de façon peu homogène à la surface de la Terre : 65 % des réserves de pétrole et 35% des réserves de gaz sont au Moyen Orient, seule région à pouvoir offrir au monde riche sa croissance et ses ajustements de consommation dans le futur. Mais 70% des réserves de charbon sont regroupées dans les trois régions potentiellement les plus puissantes du monde : les USA, la Chine et l'ex URSS.

L'Irak dispose probablement des plus grosses réserves de pétrole du monde, et ce pétrole est le meilleur marché de la planète (son extraction est très aisée). Il pourrait donc constituer demain le prix directeur de l'énergie. Dans ce contexte, la guerre en Irak trouve une explication simple. Elle préfigure d'autres guerres à venir, toutes destinées à contrôler l'approvisionnement

en énergie du monde riche. Puis viendront les guerres pour le partage de ces ressources, donc entre pays riches. Ces guerres là seront de type économique, et elles opposeront un tripôle de nations regroupées autour des Etats Unis, de l'Europe et de la Chine. Et ceci se déroulera sur fond de pénurie dans les pays les plus pauvres.

Mais on ne peut aussi exclure encore d'autres conflits, consécutifs aux désordres climatiques eux-mêmes, comme les inondations de certaines régions par la mer, ou la désertification de certaines zones du globe et l'exode des populations vers des pays qui, évidemment, les combattront pour ne pas être envahis.

La seconde conclusion face au regain de ces tensions géopolitiques est que les stratégies énergétiques actuelles des pays riches mènent avec certitude à une recrudescence des guerres et de la misère sur Terre. Pour les pays pauvres, tous les scénarii du futur sont des scénarii catastrophes dont ils ne sortiront pas vainqueurs.

Enfin, l'énergie est grande responsable dans les problèmes environnementaux. A tous les stades de sa transformation, l'énergie est source de nuisances : marées noires, effet de serre, couche d'ozone, déchets radioactifs, la liste est longue et l'impact environnemental de ces nuisances n'est plus nié par quiconque. La plus grave et la plus immédiate de ces menaces est le réchauffement climatique (majoritairement dû au CO₂), dont d'origine anthropique est aujourd'hui bien établie : le monde libère déjà deux fois plus de carbone que ce que la Terre peut absorber (essentiellement par les océans). Si les pays riches ne divisent pas très vite par 4 ou 5 (voire 10 pour certains) leurs rejets de gaz à effet de serre (donc aussi leurs consommations d'énergie), les désordres observés se multiplieront : inondations, tempêtes, modification des régimes de climats et de pluies, inversion des grands courants marins, voire « débullage » de l'océan qui au lieu d'absorber le CO₂ relarguerait celui qu'il contient déjà.

D'ores et déjà, on sait que l'élévation de température au cours du XXIème siècle se situera, si on ne fait rien, entre 4 et 5 °C. Les « archives » climatologiques contenues dans les glaces polaires et vieilles de 720.000 ans ne contiennent aucune température terrestre correspondant à 5°C de plus que la température actuelle. En revanche, il y a 18.000 ans, à la fin de la dernière ère glaciaire, la température de la Terre a été inférieure de 5°C à la température actuelle. Le niveau des océans était inférieur de 120 m au niveau actuel et on se rendait à pied sec de France en Angleterre, l'Europe du Nord et l'Allemagne étaient recouvertes par 3 km de glace et le sol de la France était du permafrost.... Autant dire qu'à la fin du siècle, 5°C de plus correspondront à un changement d'ère climatique, et pas à un banal changement de temps permettant de bronzer un peu plus l'été et de se chauffer un peu moins l'hiver. C'est une révolution qui nous attend, et peu de Français, même parmi les décideurs et les élus, en sont vraiment conscients.

Les conditions de l'équilibre en carbone sur Terre sont simples : le seul puits de carbone à long terme est l'océan. Il absorbe, bon an mal an, 3 milliards de tonnes de carbone annuellement. Comme il y a 6 milliards d'habitants sur Terre, chacun de nous, en toute équité, a droit de rejeter 0,5 tonne de carbone/an. Globalement la Terre rejette déjà le double. En clair cela signifie pour les pays riches de réduire par un facteur 4 à 5 leurs émissions de gaz à effet de serre actuelles, donc sensiblement leurs consommations d'énergie. C'est exactement ce qu'a assigné au pays le Premier Ministre de la France lors de l'ouverture du débat sur l'Energie en 2003.

A quoi correspondent ces contraintes pour le bâtiment ? Le tableau suivant fait apparaître les consommations actuelles, et les valeurs cibles à atteindre. On voit que, dans le secteur résidentiel comme dans le secteur tertiaire, il faut atteindre une consommation moyenne de chauffage sur la France d'environ 50 kWh/m².an pour satisfaire les conditions de l'équilibre en carbone.

Est-ce vraiment techniquement possible ? La question ne se pose pas tout à fait ainsi. Il ne s'agit en effet pas de savoir si c'est techniquement possible ou si c'est cher. La question est plutôt de savoir quand est-ce qu'on commence à transformer les bâtiments et donc quand est-ce qu'on aura trouvé les moyens techniques et économiques pour y parvenir. Car nous n'avons pas le choix. Nous sommes condamnés à réussir ce pari technologique, ou à disparaître petit à petit. Toute discussion, toute procédure tentant de prouver le contraire ou visant à entraver cette démarche conduit à une perte de temps qui pourra coûter cher à l'humanité dans la course contre la montre qu'elle doit aujourd'hui entreprendre.

Secteur	Usage	Bâtiments <1975	Bâtiments neufs	Ensemble actuel	Valeurs cibles
Résidentiel	Chauffage kWh/m ² /an	328	80 à 100	210	50
	ECS ¹ kWh/m ² /an	36	40	37,5	10
	Electricité à usage spécifique (kWh/pers/an)	1000	1000	1000	250
Tertiaire	Chauffage kWh/m ² /an	209	155	196	50
	ECS ¹ kWh/m ² /an	19	40	29	7
	Electricité à usage spécifique (kWh/m ² /an)	?	?	96	24

Sources : Observatoire de l'énergie, INSEE

(1) ECS : Eau chaude sanitaire

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude dont l'objet est d'explorer les moyens techniques et économiques à mettre en œuvre pour parvenir à un tel résultat pour le chauffage des bâtiments anciens de certains quartiers de Mulhouse datant du 19^{ème} siècle et début du 20^{ème}..

Il restera ensuite à étudier comment diviser par quatre la consommation d'énergie consacrée à la production d'eau chaude sanitaire et aux usages spécifiques de l'électricité dans les bâtiments....

CHAPITRE 1 : LA METHODOLOGIE

1-1 Principes généraux et méthode

La méthode que nous avons choisie repose sur l'étude détaillée de deux bâtiments situés respectivement 19 et 31 rue des Vosges à Mulhouse.

Pour évaluer l'influence sur la consommation annuelle d'énergie des modifications techniques apportées aux bâtiments et aux systèmes, nous avons utilisé un outil de simulation dynamique : Comfie-Pléiades. Cet outil est susceptible de prendre en compte le comportement dynamique du bâtiment en intégrant le comportement des parois, des baies vitrées et des apports solaires, des masses intérieures, etc. Associé à un module de calcul de rendement des systèmes énergétiques, il peut fournir :

- les consommations d'énergie annuelles de chauffage,
- l'évolution de la température intérieure, notamment en été.

Nous avons récemment validé cet outil en comparant les résultats de simulation avec les mesures effectuées sur un bâtiment existant ayant fait l'objet d'un suivi métrologique très détaillé pendant une année au pas de temps de 10 minutes (collectif de 17 logements à Villeurbanne).

Les différentes étapes de travail seront donc les suivantes :

- 1 - Description des deux bâtiments et numérisation de leur plan,
- 2 - Inventaire des solutions techniques à explorer, à simuler et à étudier pour atteindre les objectifs de consommation assignés, en cherchant à ne pas se mettre de contrainte trop forte, notamment sur l'existence ou non d'une offre technique (démarche exploratoire),
- 3 - Simulations mettant en œuvre les améliorations proposées,
- 4 - Elaboration de combinaisons de solutions conduisant au résultat recherché, différenciées selon le type de bâtiment ou de logement étudié,
- 5 - Approche économique avec évaluation des coûts des solutions proposées.

1-2 Le logiciel Pléiades + Comfie

1.2.1 Présentation générale de l'outil

Le logiciel Pléiades + Comfie est un outil de simulation dynamique développé par le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris. A partir d'une description très fine du bâtiment, de ses équipements, des séquences et heures de fonctionnement ou d'arrêt des matériels, des séquences d'occupation ou d'inoccupation, etc, il procède, sur l'ensemble de l'année, à un calcul au pas de temps de l'heure de l'ensemble des équilibres thermiques du bâtiment, ce qui lui permet de déterminer, pour chaque heure, les besoins de chauffage (ou de climatisation) ainsi que les températures dans les locaux. La décomposition du bâtiment peut comporter jusqu'à 20 zones thermiquement différentes.

L'utilisation de ce logiciel a plusieurs avantages majeurs :

- Il permet simultanément le calcul des consommations de chauffage et le contrôle des conditions du confort d'été.
- Il permet évidemment l'utilisation d'un fichier météo spécifique à Mulhouse.
- Les paramètres de ventilation, d'occupation et de niveau de température dans les locaux chauffés peuvent être librement fixés. On peut donc les rendre conformes aux valeurs mesurées sur des opérations similaires et donner un caractère plus représentatif à la simulation.

Les résultats sont disponibles à la suite des simulations se présente notamment sous formes :

- d'un tableau de synthèse, indiquant les besoins, les puissances et les températures moyennes, mini et maxi pour chacune des zones.
- d'un module d'analyse graphique des températures ou des puissances sur une période choisie. Ce module permet d'afficher simultanément les résultats de simulations différentes et de les comparer.
- d'un descriptif organisé en arborescence permettant de retrouver rapidement les paramètres utilisés pour la simulation.

Les résultats des calculs sont également retranscrits dans un fichier au format texte que l'on peut transformer pour l'utiliser dans un tableur. Ce fichier reprend heure par heure et jour par jour les calculs des températures et des puissances de chaque zone. C'est ce fichier qui a été exploité pour le calcul des consommations.

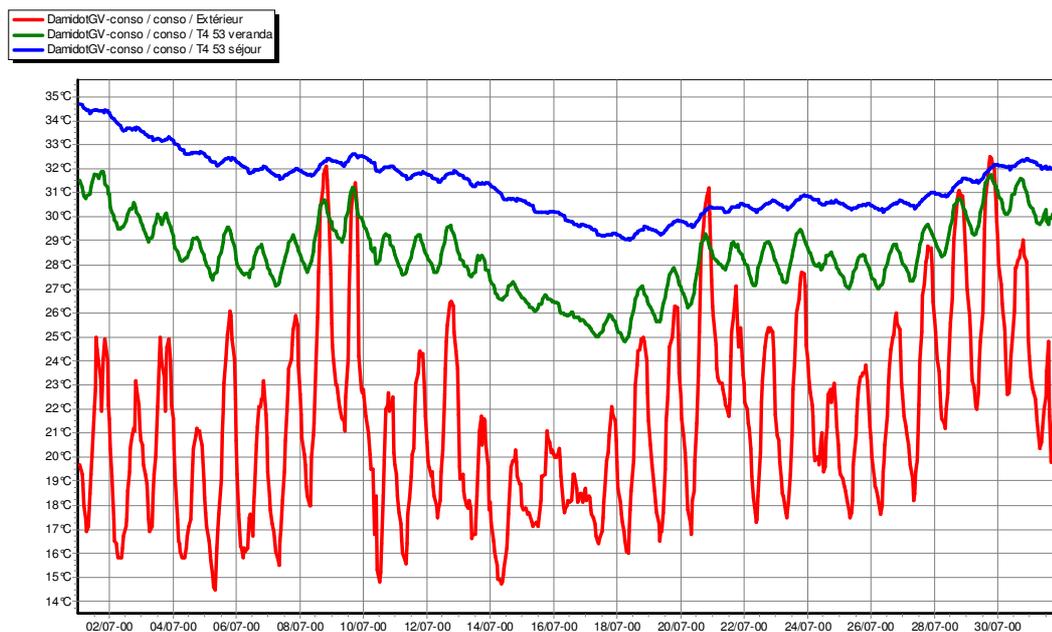


Figure 1.1 : Exemple de graphique disponible avec Comfie. Ici des courbes de température en été (température extérieure, dans le séjour et dans la véranda) .

1.2.2 Calcul des rendements et des consommations

Nous avons réalisé ces calculs au moyen de deux fichiers Excel. Le premier est destiné au calcul des différents rendements :

- émission,
- régulation,
- distribution de chauffage,
- génération de chauffage pour une ou deux chaudières, à allure constante ou modulante et avec production d'ECS ou non.
- distribution d'ECS.
- stockage d'ECS.
- génération d'ECS.

Deux onglets ont été réalisés pour chaque rendement. Le premier pour la saisie et le second pour les calculs « cachés ».

Ces rendements ont été déterminés à partir des règles de calcul développées dans la méthode Th-C de 1988.

Le second fichier Excel est un simple fichier de saisie destiné à récupérer la valeur de certains paramètres déterminés par Comfie, à savoir :

- GV,
- BV,
- Les degrés heures,
- Les fréquences cumulées de températures extérieures,
- La température moyenne extérieure hiver,
- La température moyenne extérieure été,

- La température moyenne intérieure hiver,
- La température moyenne intérieure été,
- La durée de la saison de chauffe.

Ces différentes valeurs sont introduites dans les feuilles de calcul des rendements.

1.2.3 Validation du modèle

La validation de cet outil de simulation a été faite sur une opération de logements que nous avons entièrement instrumentée pendant un an (280 capteurs). Les consommations calculées par le modèle ne se sont pas écartées de plus de 5% des consommations mesurées sur l'immeuble de référence. Compte tenu de la précision avec laquelle sont connues la plupart des variables utilisées dans la modélisation, cet écart doit être considéré comme très satisfaisant. Parmi les paramètres susceptibles d'introduire une incertitude, citons :

- La valeur des ponts thermiques saisie et des débits de ventilation qui peuvent varier en fonction de la mise en œuvre sur le chantier,
- Les apports internes, considérés constants sur une journée et sur l'année,
- La justification physique du rendement d'émission, systématiquement pris égal à 0,95 conformément aux indications du CSTB,
- La détermination du rendement de régulation dont la formule reste simple (voire simpliste) et dont la variation a des conséquences importantes sur les consommations.
- L'exactitude d'un certain nombre de coefficients (d'absorption ou d'échange de chaleur, etc.),
- La fiabilité et la précision des mesures elles-mêmes.

1.2.4 Difficultés spécifiques liées à l'évaluation du confort d'été

Afin de valider de façon satisfaisante les solutions qui seront retenues pour atteindre les 50 kWh/m².an, il était prévu de vérifier leur impact sur le confort d'été.

On a systématiquement privilégié une isolation par l'intérieur car elle permet d'effectuer les travaux logement par logement lors des changements de propriétaire. Ceci aura pour effet de réduire l'inertie et donc de favoriser l'élévation des températures intérieures diurnes en été.

Pléïades + Comfie permet de contrôler les niveaux de température dans les différentes zones. Sur le bâtiment test de référence (immeuble Damidot), les températures ont été enregistrées toute l'année. La vérification des calculs semble donc possible. Mais deux problèmes se posent :

- Comme la plupart des outils de simulation dynamique, Comfie ne sait pas déterminer les débits exacts induits par la ventilation naturelle due à l'ouverture des fenêtres. Ces débits jouent pourtant un rôle essentiel dans la détermination du niveau de température interne,
- Sur le bâtiment test de Villeurbanne, les menuiseries extérieures (et celles entre véranda et logement) ont été instrumentées au moyen d'un contact de feuillure nous renseignant si elles étaient ouvertes ou fermées. Mais ce dispositif ne nous fournissait pas l'amplitude de l'ouverture (entre ouverte, ou grande ouverte ?), ni la valeur du débit d'air.

Si on fixe à zéro le débit dû à la ventilation naturelle (faute de connaître sa valeur exacte), on s'aperçoit que le niveau de température dans le logement fourni par le calcul est toujours supérieur à celui de la véranda et de l'extérieur (voir figure 1.1). Or les mesures montrent le contraire (voir séquence de mesure de la figure 1.3). Le débit de ventilation naturelle

ne peut donc pas être pris égal à zéro. Cela induit une erreur majeure. Mais comment alors déterminer ce débit de manière fiable ?

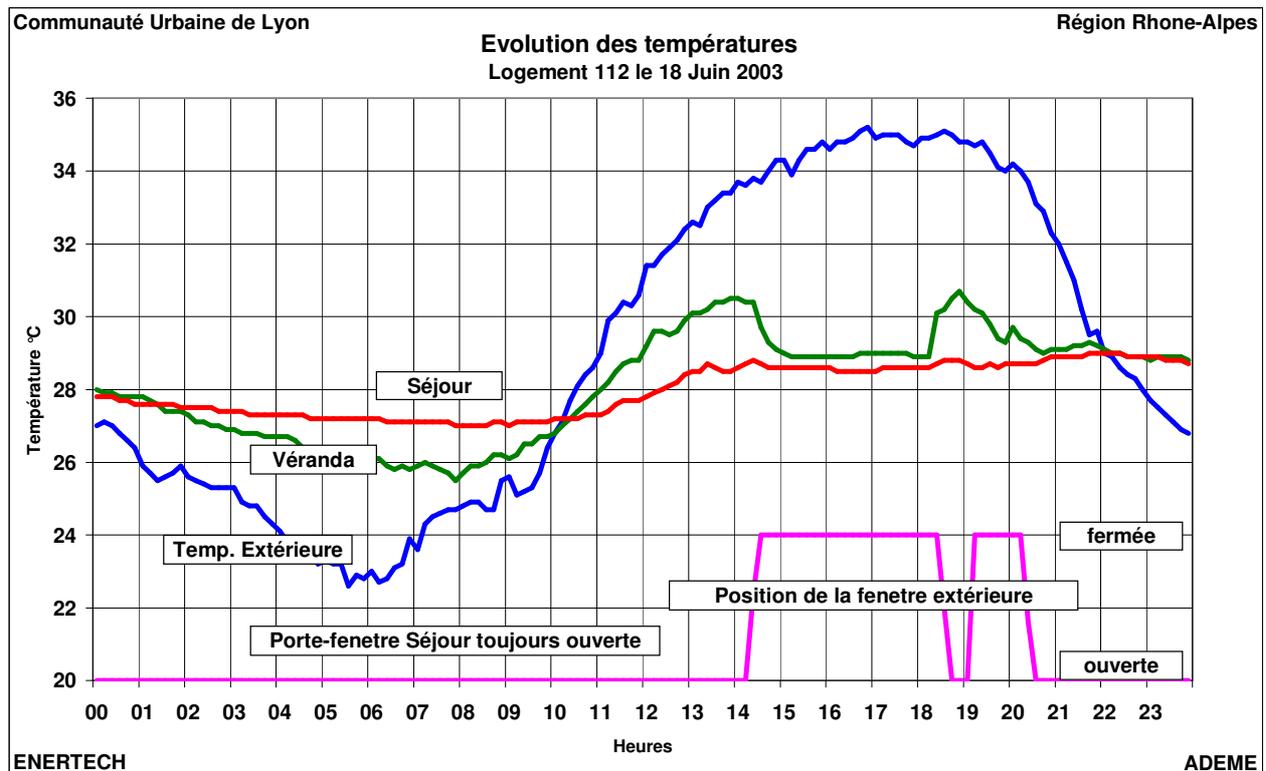


Figure 1.3 : Les mesures réalisées dans l'immeuble test montrent qu'en cours de journée, la température dans le séjour est plus faible que dans la véranda et à l'extérieur.

Afin d'obtenir une valeur approchée, nous avons estimé le taux de renouvellement d'air nécessaire pour atteindre le niveau de température mesuré. Ce taux est de 1,50 volumes par heure. Cela peut paraître un peu faible pour une ouverture de fenêtre, mais il faut garder à l'esprit qu'il s'agit d'un taux journalier moyen.

Pour apprécier un peu mieux l'impact des débits de ventilation naturelle et les erreurs éventuelles que l'on pourrait être amené à commettre en les mésestimant, nous avons élaboré et testé trois scénarii sur un bâtiment après isolation à Carpentras (zone climatique H3, la plus chaude). Les trois scénarii avaient un débit de ventilation 3 fois supérieur la nuit à celui de la journée, et ils se différenciaient par la valeur de leur débit nocturne (respectivement 5, 2.5, et 1.5 vol/h la nuit).

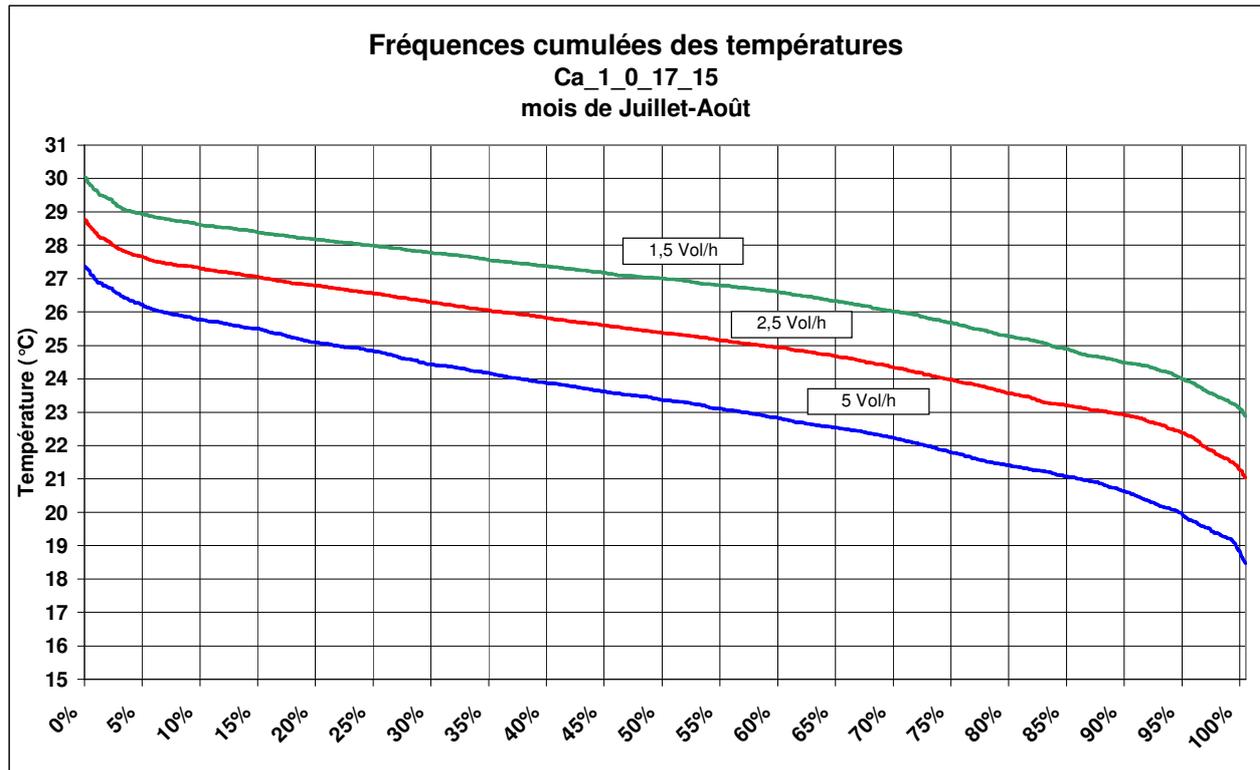


Figure 1.4 : Fréquences cumulées des températures intérieures en fonction du renouvellement d'air.

La figure 1.4 représente les courbes de fréquences cumulées des températures intérieures durant les mois de juillet et d'août dans ce bâtiment.

On observe qu'avec un débit nocturne de 5 volumes par heure on ne dépasse que très rarement 27°C (1% du temps, soit en moyenne 15 minutes/j) en juillet et en août. Si le débit n'est plus que de 2,5 vol/h, la température est supérieure à 27°C pendant 15% du temps (soit 3,6 h/j) et lorsqu'il atteint 1,5 vol/h, on dépasse 27°C pendant 50% du temps.

La variation des résultats entre les trois scénarii est très importante. Elle montre l'extrême sensibilité de la température intérieure au débit de renouvellement d'air nocturne. Il sera donc difficile d'annoncer des résultats fiables pour caractériser le confort d'été. Afin d'éviter toute ambiguïté sur les résultats, il faudra toujours veiller à préciser très explicitement les valeurs du débit d'air nocturne adoptées pour le calcul.

Une chose est sûre : le confort d'été sera plus délicat à atteindre avec les bâtiments très isolés, à cause notamment du niveau d'apports internes, difficile à évacuer sur l'extérieur. Il faudra impérativement, pour y parvenir, mettre en place toutes les dispositions propres à réduire les consommations d'électricité spécifiques (MDE) dans les logements.

Autre difficulté : la notion de confort, surtout en été, ne peut se résumer à l'analyse de la température intérieure. Un courant d'air, même s'il ne fait pas diminuer la température, apporte une sensation de rafraîchissement car il augmente l'évaporation à la surface de la peau. Mais cette évaporation est aussi fonction de l'hygrométrie...

1.2.5 Conclusion

Même s'il n'apporte pas une réponse à toutes nos interrogations, le logiciel Comfi-Pléïades nous a semblé un bon compromis pour procéder au travail de simulation et d'exploration que nous avons à réaliser. Il présente les mêmes limites que tous les modèles de simulation ! Mais il a l'avantage d'une certaine facilité d'utilisation, d'une grande rapidité d'exécution.

1-3 Les objectifs

Cette étude a pour but de déterminer, sur deux bâtiments jugés représentatifs du quartier à rénover, quelles sont les dispositions techniques qu'il conviendrait de mettre en œuvre pour atteindre une consommation de chauffage, exprimée en énergie primaire, de 50 kWh/m².an.

Sans préjuger des technologies disponibles aujourd'hui en France (probablement insuffisantes), l'approche retenue dans ce qui suit s'est voulue purement exploratoire en ce sens qu'elle ne s'est pas bornée aux matériels disponibles aujourd'hui sur le marché français. Elle cherche plutôt à définir la nature des performances que chaque type de composant devrait satisfaire pour contribuer à atteindre la performance globale recherchée.

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que nous sommes dans une Europe ouverte, et qu'un certain nombre de pays ont déjà développé des technologies performantes.

Le second objectif de cette étude est une évaluation économique des dispositions mises en œuvre. Cette tâche est extrêmement délicate dans la mesure où les prescriptions nécessaires supposent des matériels et des matériaux peu fréquemment, ou pas, mis en œuvre en France actuellement. On ne dispose donc pas de grille de prix et il faudra probablement, dans un second temps, préciser les valeurs avec l'aide de l'ensemble des professionnels concernés.

Il faut toutefois conserver à l'esprit que les marchés naissants ne reflètent pas toujours correctement (et même pratiquement jamais) le prix à terme des produits et des techniques. L'exemple de l'histoire du vitrage peu émissif est une parfaite illustration de ce principe.

CHAPITRE 2 : TYPOLOGIE DES BÂTIMENTS ETUDIÉS

2-1 Généralités

Après visite de différents bâtiments dans le quartier qui sera soumis à la rénovation, deux d'entre eux ont été retenus. Il s'agit des maisons sises au 19 et au 31 rue des Vosges.



Bâtiment du 19 rue des Vosges



Bâtiment du 31 rue des Vosges

Leurs caractéristiques générales sont les suivantes (N.B. : les plans du 31 sont en annexes) :

Type du bâtiment	Surface habitable (m ²)	Surface plancher bas (m ²)	Surface plancher haut (m ²)	Surface rampant (m ²)	Surface murs extérieurs (m ²)	Surface menuiseries (m ²)		
						Façade Sud	Façade Nord	Totale
19 rue des Vosges	133,5	53,1	34,8	30,7	115,50	9,61	10,79	20,40
31 rue des Vosges	194,5	57,1	35,0	29,0	143,5	16,00	16,14	32,14

Figure 2.1 : Principales caractéristiques typologiques et dimensionnelles des 2 bâtiments étudiés

2-2 Caractéristiques générales des bâtiments existants

L'analyse sur place a conduit à choisir les valeurs suivantes :

→ *Menuiseries*

Menuiseries bois simple vitrage $K = 4,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Coefficient de claire :

- petites fenêtres = 0,70
- grandes fenêtres = 0,70

L'impact des volets n'a pas été pris en compte dans le calcul des consommations afin de ne pas s'appuyer sur un paramètre purement comportemental que l'on ne maîtrise pas (la fermeture des volets par les gens).

→ *Murs extérieurs*

Blocs de calcaire ferme, $\lambda = 2,30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, de 50 cm d'épaisseur. $R = 0,31 \text{ m}^2\text{C/W}$

→ *Planchers rampants hauts et planchers sous combles*

Lattis bois + chaux, plâtre 2 cm, $\lambda = 0,35 \text{ W/m}\cdot\text{K}$., bois 1 cm, $R = 0,06 \text{ m}^2\text{C/W}$

→ *Planchers bas sur cave*

Plancher bois + lame d'air + Placo $R = 0,30 \text{ m}^2\text{C/W}$

→ *Renouvellement d'air*

Le renouvellement d'air n'est en principe pas connu dans des bâtiments anciens, qui plus est non munis de ventilation mécanique. On a fait l'hypothèse, assez légitime, que le débit moyen annuel était de 0,50 volume par heure.

→ *Scénario d'occupation*

Les scénarii d'occupation ne sont évidemment pas une caractéristique « actuelle » des bâtiments comme l'indique le titre du présent paragraphe, mais il est nécessaire de les définir afin de pouvoir déterminer la consommation du bâtiment avant rénovation. Ces scénarii seront d'ailleurs conservés dans le bâtiment une fois rénové.

Scénarii d'occupation :

Présence :

- à 100% de 20h à 8h,
- 0% le reste du temps.

Pas de différence entre les différents jours de la semaine.

Taux d'occupation : 4,38 personnes pour 100 m² (c'est ainsi que le logiciel COMFIE intègre cette donnée...). Cette valeur est issue d'observations faites sur d'autres bâtiments du même type.

→ **Scénario de puissance dissipée (apports internes)**

Même remarque préalable que précédemment.

100 % du temps toute la semaine.

Puissance dissipée : 448 W pour 100 m². Cette valeur est issue d'observations faites sur d'autres bâtiments du même type. La décomposition de ces apports est la suivante :

<i>Nature de l'apport</i>	<i>Puissance pour 100 m² (W)</i>
Electricité spécifique	245 W (55 %)
Electricité des services généraux	38 W (8%)
Cuisson	108 W (24 %)
Distribution ecs dans les logements	25 W (6 %)
Utilisation d'ecs dans le logement	32 W (7 %)
	448 W (100 %)

→ **Rendements des installations existantes**

■ Chauffage électrique (les installations existantes ne sont pas à l'électricité, mais cette hypothèse a été rendue nécessaire par la simulation que nous avons faite du cas de la rénovation à l'électricité) :

- Rendement d'émission = 0,95 (convecteurs).

- Rendement de régulation - Valeur de R_{r0} = 0,96 (régulation par pièce conforme aux normes sans plus).

- Rendement émission/distribution/régulation : 0,912

■ Chauffage au gaz :

Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des installations existantes étaient assurées par des chaudières murales. Les différents rendements pour le chauffage ont été pris ainsi :

- Rendement de génération = 0,77 sur PCS.

- Rendement de distribution : pas d'isolation des tubes.

- Rendement de régulation : valeur de R_{r0} = 0,86 (pas de robinet thermostatique).

D'où le rendement émission/régulation : 0,662. Le rendement de distribution a été calculé en supposant que la distribution principale hors volume chauffé mesurait 10 m en Ø28 et était calorifugée par 30 mm d'isolant (conductivité $\lambda = 0,035$ W/m°C).

CHAPITRE 3 : HYPOTHESES ET PRINCIPES DE CALCUL DES SOLUTIONS EN RENOVATION

La méthode utilisée pour conduire les simulations et arbitrer parmi les résultats est la suivante :

- **phase 1** : nous avons fait l'inventaire de tous les paramètres susceptibles de varier, et dont l'étude pouvait présenter un intérêt, ne serait ce qu'à titre exploratoire,

- **phase 2** : pour chacun des paramètres retenus, nous avons ensuite défini une plage de variation. Cela revient à préciser, par exemple, de quelle valeur minimale à quelle valeur maximale doit varier la résistance thermique des murs. Dès ce stade de l'étude, il a fallu se positionner face à la question des matériels. Ainsi, faut-il borner notre exploration aux seuls matériels présents sur le marché français, ou bien faut-il faire des simulations prospectives avec des paramètres ne correspondant à aucune fabrication actuelle, soit en France, soit en Europe ?

De façon très claire, le parti a été pris d'explorer les conditions techniques conduisant au résultat cherché sans se préoccuper de savoir si les technologies étaient ou non disponibles, partant plutôt de l'idée que cette étude devait servir, au contraire, à définir les performances des équipements ou matériaux nouveaux nécessaires pour accéder aux objectifs assignés.

Toutefois, nous n'avons pas pratiqué entièrement « à l'aveugle ». Nous avons étudié le marché allemand des produits et matériels déjà commercialisés et mis en oeuvre dans les constructions du type PassivHaus (15 kWh/m²/an).

A noter que dans tous les cas, les systèmes de chauffage (pour chaque énergie) ont été choisis à leur meilleur niveau disponible en France. Ce paramètre n'a pas fait l'objet de variantes.

- **phase 3** : mise en oeuvre des calculs de simulation conduisant à autant de valeurs de la consommation de chauffage par m²,

- **phase 4** : étude par simulation de paramètres supplémentaires mais marginaux,

- **phase 5** : calculs économiques,

- **phase 6** : choix des meilleures solutions technico-économiques.

Les phases 1 et 2 seront présentées dans le présent chapitre. Les autres phases font l'objet du chapitre suivant.

3-1 L'isolation du bâti

Principe de la simulation :

Pour des facilités de simulation et pour ne pas multiplier les cas de figure, seule l'isolation des parois verticales a fait l'objet de variations paramétriques. C'est également

l'isolation par l'intérieur de ces parois qui sera à l'origine d'une réduction de la surface habitable qu'il conviendra de minimiser.

Planchers hauts et bas

Voici, pour chaque type de parois, les caractéristiques des différentes valeurs de la résistance thermique mise en œuvre dans les simulations :

Type de plancher	R1	R2	R3	R4
En combles	7,5	7,5	7,5	7,5
Sous rampants	2,9	4,3	5,7	7,5
En sous-face de plancher bas sur sous-sol	0	2,9	4,3	5,7

Figure 3.1 : Résistances thermiques (en m^2C/W) des planchers hauts et bas

Murs

Il est en principe possible d'isoler les parois verticales soit par l'intérieur (au détriment de la surface habitable, mais à moindre coût), soit par l'extérieur. Cette dernière solution permet de supprimer les ponts thermiques, elle résout aussi le problème des équipements (sanitaires, radiateurs, etc) placés en façade, mais elle ne peut être généralisée dans un programme de rénovation, car les conditions de sa réalisation ne sont souvent pas réunies. Ainsi en est-il de l'isolation extérieure sur la rue qui peut être irréalisable soit à cause du caractère esthétique de la façade ancienne, soit à cause de l'emprise sur le domaine public qui est souvent rédhibitoire (juridiquement ou pour des questions de place).

Dans le cas des deux bâtiments à étudier, l'apport thermique de l'isolation par l'extérieur est très réduit du fait de la présence de plancher en bois pratiquement pas sujets à des ponts thermiques. En conséquence, et pour simplifier l'étude, cette distinction n'a pas été prise en compte dans les simulations.

Néanmoins, à chaque fois que la solution de l'isolation par l'extérieur sera possible, elle doit être envisagée, car elle simplifiera les travaux de rénovation et conduira à de meilleures performances thermiques.

Dans ce qui suit, il faut considérer les valeurs de la résistance thermique (parfois très élevées) comme purement exploratoires. La question à laquelle nous devons répondre était : vaut-il mieux isoler les parois verticales avec des résistances thermiques très élevées (voire inexistantes aujourd'hui sur le marché), ou bien recourir à d'autres technologies ?

Type d'isolation murale	Valeur de la résistance thermique
R1	$R = 2,9 m^2.K/W$
R2	$R = 4,3 m^2.K/W$
R3	$R = 5,7 m^2.K/W$
R4	$R = 7,5 m^2.K/W$

Figure 3.2 : Isolation des murs par l'intérieur - Résistances prises pour les simulations

3-2 Le choix des menuiseries et des vitrages

Dans tous les cas de figure les menuiseries extérieures ont été changées. Quatre types de solutions ont été envisagées, en fonction du type de menuiserie et du type de vitrage :

Type de menuiserie	Type de vitrage	U_g (fenêtre) W/m ² .K	U_w (vitrage) W/m ² .K	Facteur solaire (%)
Bois	Double peu émissif avec argon	1,70	1,10	58
Bois non renforcé	Triple peu émissif avec argon (4-16-4-16- 4)	1,10	0,60	52
Bois - Double fenêtre	Double peu émissif avec argon	0,97	0,55	42
Bois/liège ou équivalent	Triple peu émissif avec argon	0,78	0,60	52

Figure 3.3 : Menuiseries extérieures et type de vitrage choisis pour la simulation

La double fenêtre est une très vieille technique utilisée depuis des décennies dans les régions froides. Il s'agit de deux fenêtres placées à environ 20 ou 30 cm d'intervalle dans l'épaisseur du mur extérieur. Ce dispositif, outre ses bonnes performances thermiques, permet de « doser » la résistance thermique en n'ouvrant qu'une ou des deux fenêtres.

La fenêtre « bois/liège » ou les fenêtres du même type (c'est à dire de structure en sandwich) sont constituées de menuiseries comprenant différentes couches de matériaux, notamment de matériaux isolants (du liège ou du Purénite), destinés à renforcer la résistance thermique globale de la menuiserie. Ces solutions sont mises en œuvre avec les triples vitrages.

Remarque : pour la seule référence de vitrage performant disponible en France (le double vitrage peu émissif à lame d'argon), nous avons adopté une valeur de U de la fenêtre assez conservatrice ($U_w = 1,70$ W/m²K) liée à l'utilisation de bois pour la menuiserie, plutôt que de PVC. L'utilisation de celui-ci peut permettre d'atteindre des valeurs de U global de l'ordre de 1,4 à 1,5 W/m²K.

3-3 Le renouvellement d'air

Le renouvellement d'air est un des principaux problèmes posés par la rénovation. Dans les logements anciens, il existe en général un débit de renouvellement d'air parasite. Ce débit est très difficile à évaluer. Il est surtout très irrégulier, excessif les jours de vent, et très insuffisant les jours où règne l'anticyclone. Les pathologies (moisissures, « fantômes », etc) sont nombreuses, qui attestent de l'insuffisance globale de ce débit.

Le risque, lors de la rénovation, est de rendre définitivement étanches les logements, notamment lors du remplacement de toutes les menuiseries extérieures, source principale de renouvellement d'air dans les bâtiments anciens.

Nous avons donc adopté deux hypothèses que nous avons systématiquement mises en œuvre dans l'ensemble des cas simulés :

■ d'abord, nous avons estimé à 0,5 vol/h le débit de renouvellement d'air naturel moyen (à l'échelle de l'année) dans les logements existants, et nous avons décidé de conserver cette valeur dans le calcul des bâtiments après transformation. Ce débit correspond aussi à la valeur moyenne annuelle du renouvellement d'air telle que nous avons pu la mesurer dans l'immeuble expérimental neuf que nous avons instrumenté pendant une année. Elle reflète donc une situation réelle.

■ nous avons considéré que ce débit pouvait être atteint de deux façons :

- soit de façon naturelle. Dans ce cas, on a supposé que des orifices dans les menuiseries permettraient de fournir des entrées d'air équivalentes à ce qui existait avant rénovation. Qu'on se rassure, le résultat des simulations présenté dans ce qui suit va montrer que cette solution, peu satisfaisante, ne conduit jamais aux objectifs assignés. Cette voie sera donc abandonnée.

- soit mécaniquement. C'est effectivement le seul moyen d'assurer une réalité au débit recherché. Mais afin d'atteindre les performances requises, nous avons également supposé que **le renouvellement d'air était alors de type double flux, avec échangeur de chaleur**. Nous avons considéré que **l'efficacité de l'échangeur était de 70 %**.

Cette valeur de 70 % est aujourd'hui très largement dépassée par les produits mis en vente notamment sur le marché allemand et qui affichent des rendements de 95% pouvant même atteindre 99 % ! Certes il s'agit de mesures en laboratoire. Avec l'encrassement et les vicissitudes de la réalité (équilibre des débits, etc), il est très raisonnable et prudent d'adopter une valeur de 70 %.

La ventilation double flux avec récupération de chaleur est connue et utilisée en France depuis plusieurs décennies. On peut donc considérer que la technique qui est proposée ici est disponible en France.

Dans le cas des deux bâtiments étudiés, la rénovation portera simultanément sur l'ensemble des logements. Il est donc tout à fait possible de proposer un système unique de ventilation centralisée, plutôt qu'un système de ventilation par logement.

Mais la technique de rénovation par système centralisé n'est pas la seule possible. Il existe effectivement deux alternatives :

■ les systèmes individuels regroupant dans un faux plafond ou un placard du logement, un échangeur et deux moto-ventilateurs (voir ci-dessus). Cette solution individuelle sera parfaitement adaptée à la rénovation d'un seul logement dans un immeuble (puisque dans ce cas la rénovation collective n'est pas possible),

■ des systèmes de ventilation dont les réseaux n'opèrent plus verticalement (depuis la toiture), mais horizontalement depuis la façade.

C'est précisément la démarche qui a été utilisée en Allemagne, pays récemment acquis à la ventilation mécanique. Plusieurs systèmes double flux d'une efficacité d'échange de 70% et parfois supérieure ont été trouvés chez des fabricants allemands. Ces systèmes sont adaptés à la rénovation car ils s'installent dans les murs extérieurs. Aucun réseau ne relie les différentes pièces des logements. Certains systèmes intègrent dans le même bloc la prise d'air neuf, le soufflage, la reprise, le rejet et l'échangeur. Un bloc par pièce est nécessaire. D'autres fonctionnent par deux blocs (un par pièce) qui assurent en alternance le soufflage et la reprise.

3-4 Les apports internes et scénarii d'occupation

Inchangés par rapport aux hypothèses détaillées au § 2.2 concernant les bâtiments existants. Rappelons qu'il s'agit des valeurs issues des mesures effectuées dans l'immeuble qui a fait l'objet d'un suivi pendant une année. A noter que dans tous les cas de figure, on a considéré l'existence d'un ralenti de nuit.

3-5 Energie et technologie de chauffage

3.5.1 L'électricité

3.5.1.1 Bâtiments existants

On a supposé que les installations existantes, quel que soit leur type, étaient équipées de convecteurs si elles avaient été chauffées à l'électricité.

Caractéristiques techniques de ces équipements adoptées pour la modélisation : voir § 2.2

3.5.1.2 Bâtiments rénovés

Deux solutions sont en théorie possibles :

- le *chauffage par convecteurs électriques*

Compte tenu du mode de calcul en énergie primaire, cette solution n'aura aucune chance de satisfaire les exigences requises. Il lui faudrait pour cela une enveloppe près de trois fois plus isolante, ce qui paraît difficile. Nous n'avons pas étudié ce cas.

- la *pompe à chaleur sur l'air extrait*

Cette technologie est une bonne réponse technique. Le coefficient de performance est de l'ordre de 3. Compte tenu du rendement de la production électrique actuelle, le rendement global d'une PAC sur air extrait est tout à fait comparable avec celui des combustibles. C'est une des manières les plus intelligentes d'utiliser l'électricité. Et compte tenu des très faibles niveaux de puissance thermique nécessaires dans les bâtiments une fois l'enveloppe améliorée, l'investissement ne devrait pas être important.

En France ce système existe déjà. Récemment, la société Aldès a développé le système « Températion » basé sur ce principe, mais adapté à d'autres fins, et la société France Air vient de sortir une PAC de ce type avec régulation pièce par pièce.

Caractéristiques de ces équipements adoptées pour la modélisation :

COP = 3

Rendement d'émission : 0,95 (air soufflé)

Rendement de régulation : valeur de $R_{r0} = 0,96$ (régulation par pièce conforme aux normes).

3.5.2 Le gaz

On a vu que la production actuelle de chauffage est assurée par des chaudières murales à gaz double service de 23 kW.

Dans les bâtiments rénovés, nous avons systématiquement privilégié les chaudières à condensation. En effet, les bâtiments concernés sont tous des bâtiments déjà équipés de radiateurs. La rénovation de l'enveloppe aura pour effet une réduction spectaculaire des régimes de température nécessaires (par exemple, au lieu d'un régime 90/70°C on pourra chauffer avec

50/40°C), ce qui constituera une situation particulièrement favorable à la condensation (on condensera fortement toute l'année) qui permettra ainsi d'obtenir des rendements d'exploitation très élevés.

Lors des rénovations, le choix du niveau de puissance de la chaudière est important, car trop élevé, il affecte le rendement d'exploitation. Dans tous les cas, nous avons donc recalculé cette puissance en rapport avec les nouveaux besoins. Ne pas le faire aurait dégradé de façon peu réaliste le rendement d'exploitation.

On a aussi pris le parti, mais ceci est un choix sans conséquences lourdes, de supposer que le chauffage serait collectif (ce qui pose le problème des modes de partage des frais afférents). Les caractéristiques techniques de la chaudière au sol adoptée sont les suivantes :

Caractéristiques	Chaudière à condensation au sol
Puissance (kW)	24
Rendement à 100% de la charge (% sur pci)	107,4
Rendement à 30% de la charge (% sur pci)	107,4
Pertes à l'arrêt (W)	63

Figure 3.4 : Caractéristiques de la chaudière à condensation utilisée en rénovation

3-6 Equivalence adoptée entre énergie primaire et énergie finale

Les objectifs de consommation assignés sont exprimés en énergie primaire. Il est donc nécessaire de transformer les résultats fournis par la modélisation, puisqu'il s'agit d'énergie finale. Pour le gaz, nous avons travaillé en kWh_{pcs} (pouvoir calorifique supérieur), et nous avons utilisé un coefficient de conversion de 1. Les rendements de génération exprimés en PCI par les fabricants sont donc divisés par les coefficients 1,11.

3-7 Le rendement de régulation

Le mode de calcul du rendement de régulation, basé sur la méthode des règles de calcul Th-C de 1988, fait intervenir les coefficients G et B caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, et un rendement R_{r0} caractéristique de l'équipement de régulation choisi.

Cette méthode s'est avérée peu adaptée au cas des bâtiments rénovés car elle conduisait, à cause de la très faible valeur de G et donc de l'écart important entre B et G, à des valeurs ridiculement faibles du rendement de régulation qui pouvait parfois atteindre 40 % ! L'une des conséquences de ce dysfonctionnement était par exemple qu'après rénovation, le rendement global de l'installation de chauffage était si faible que la puissance (initiale) de la chaudière était déclarée « insuffisante » par le modèle.

A défaut de pouvoir reprendre les règles de calcul de ce rendement de régulation sur des bases plus adaptées, nous avons préféré le borner à 80 % dans toutes les simulations.

Est-ce une erreur ? Certainement pas, car la dégradation du rendement de régulation traduit, rappelons-le, une surchauffe des locaux consécutive à une incapacité du système régulant à adapter les apports de l'installation de chauffage alors qu'il y a déjà beaucoup d'apports gratuits. Un rendement de 40 % du rendement de régulation traduirait en hiver une

surchauffe des locaux tout à fait intolérable, et dont on sait qu'elle n'existe pas (il existe déjà des bâtiments à 50 kWh/m²/an, et ils ne sont pas le siège de surchauffe !).

3-8 Consommation initiale des bâtiments

La consommation initiale des bâtiments est essentielle pour le calcul des économies d'énergie nécessaire au bilan économique de l'opération de rénovation.

Cette consommation a été déterminée par simulation (calcul sur une année au pas de temps de l'heure) pour chaque bâtiment à partir des hypothèses définies au chapitre 2.

L'ensemble de ces consommations figure dans le tableau de la figure 3.5. Ces consommations sont exprimées en énergie primaire, ce qu'il est important de conserver à l'esprit pour interpréter correctement les consommations observées notamment pour l'électricité :

Référence du bâtiment	Surface habitable (m ²)	Consommation annuelle électricité (kWh/m ² .an)	Consommation annuelle gaz (kWh _{PCS} /m ² .an)
19, rue des Vosges	133,5	622	499
31, rue des Vosges	194,5	542	417

Figure 3.5 : Consommation de chauffage des bâtiments avant rénovation

CHAPITRE 4 : METHODE D'EVALUATION ECONOMIQUE DES SOLUTIONS

L'évaluation économique des solutions projetées a été réalisée à partir des métrés fournis par les simulations et d'une matrice des prix unitaires élaborée avec des économistes de la construction. Voici les coûts sur lesquels nous nous sommes basés. Ces coûts devront probablement être ré-évalués avec un ensemble de professionnels afin d'être mieux précisés.

Désignation	R (m ² K/W)	U _w (W/m ² K)	Coût (Euro/m ²)	Coût (Euro/logt)
Isolation sous face plancher bas	4,3	-	20	-
Isolation toiture terrasse	5,3	-	20	-
Isolation combles perdus et rampants	8,5	-	45	-
Isolation murs par l'intérieur	4,3	-	40	-
Isolation murs par l'intérieur	5,7	-	51	-
Isolation murs par l'intérieur	7,1	-	53	-
Isolation murs par l'intérieur	8,5	-	55	-
Fenêtre double vitrage peu émissif/argon	-	1,7	325	-
Double fenêtre avec double vitrage peu émissif/argon	-	0,97	650	-
Fenêtre triple vitrage peu émissif / argon sur châssis bois	-	1,1	400	-
Fenêtre triple vitrage peu émissif / argon sur châssis bois amélioré	-	0,78	450	-

Désignation	Coût (Euro/m ² habitable)	Coût (Euro/logt)
Ventilation dble flux en collectif	40	-
Chaud gaz à condensation collect,	7,5	-
PAC sur l'air extrait en collectif	55	-

TVA de 5,5 % incluses

Certains prix sont des estimations de première approximation qu'il conviendra d'affiner. C'est notamment le cas des produits issus de techniques pas encore présentes en France.

Pour chaque cas, ont été calculés le coût total des travaux, le coût des travaux au m² habitable, et le coût du kWh économisé annuellement.

Les coûts au m² ont été portés sur chacun des graphiques de résultat (voir chapitre suivant).

Seconde partie

Les résultats

CHAPITRE 5 : ANALYSE DES PERFORMANCES ENERGETIQUES OBTENUES

5-1 Introduction

Les simulations ont porté la plupart du temps sur six paramètres :

- nombre de valeurs de la résistance thermique des murs : 4
- nombre de valeurs de la résistance thermique des rampants : 4
- nombre de valeurs de la résistance thermique des planchers bas : 4
- nombre de solutions pour les vitrages : 4
- nombre de techniques de ventilation : 2
- nombre d'énergie : 2 (seulement sur le site du 31 rue des Vosges).

Au total ce sont environ **350** simulations qui ont été retenues. C'est dire la richesse de l'information disponible, et la difficulté qui peut exister à faire une synthèse parmi autant de paramètres. Pour juger et comparer aisément les différentes solutions, l'ensemble des résultats figure dans les graphiques récapitulatifs qui suivent.

Pour chaque type de bâtiment, chaque graphique est dédié à un type d'énergie et à la présence ou non d'un échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait. En pied de graphique, on trouve les paramètres caractérisant les différents cas de simulation. Quatre paramètres ont été systématiquement étudiés et ont fait l'objet de paramétrisation :

- la résistance thermique des murs,
- la résistance du plancher bas sur cave,
- la résistance des rampants,
- la nature et la résistance des menuiseries extérieures.

Dans toutes les simulations, la résistance en combles n'a pas fait l'objet d'une paramétrisation : elle a été fixée à $7,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ pour tous les cas de figure.

Rappelons que, comme indiqué en introduction du présent rapport l'objectif final est de ramener à **$50 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$** la consommation d'énergie primaire du poste chauffage.

Enfin le coût figure sur chaque solution. Il est matérialisé sur le graphique par un petit triangle. L'échelle affairante est à droite du diagramme. Elle est exprimé en Euros TTC par m^2 de surface habitable. Une TVA de 5,5 % (propre aux travaux de rénovation) a été incluse.

5-2 Etude du chauffage au gaz

Rappelons que dans le cas du gaz, on a fait l'hypothèse que la rénovation était effectuée avec une chaudière à condensation collective.

5.2.1 Cas n°1 : sans échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait

L'absence de récupération de chaleur entre air neuf et air extrait est une solution étudiée en premier, car c'est évidemment celle qui coûterait la moins chère.

L'observation des graphiques des figure 5.1 et 5.2 (pages suivantes) montre néanmoins que :

- **l'objectif de 50 kWh/m².an n'est jamais atteint**, quelle que soit la nature des améliorations thermiques retenues, si l'on n'utilise pas d'échangeur entre air neuf et air extrait,

- avec la technologie de vitrage la plus performante disponible en France aujourd'hui (double vitrage peu émissifs avec lame d'argon), on ne peut même pas descendre sous les 70 kWh/m².an, même en utilisant des résistances thermiques de 7,5 m²°K/W sur les murs,

- la technologie de la fenêtre équipée de triple vitrage peu émissif à lame d'argon et celle de la double fenêtre conduisent à des performances sensiblement identiques. Mais à l'échelle globale du projet, le surcoût de la double fenêtre sur le triple vitrage est d'environ 40 Euros TTC/m² de surface habitable,

- **si l'on ne considère que les technologies disponibles en France actuellement, le fait de ne pas recourir à un échangeur sur l'air extrait ne permet pas d'obtenir une performance meilleure que 80 kWh/m².an pour une opération et 75 kWh/m².an pour l'autre** (résistance des murs, des planchers bas et des rampants de 4,3 m²°K/W).

En conclusion, il est clair que l'absence de récupération de chaleur sur l'air extrait ne rend pas possible l'objectif assigné de 50 kWh/m².an.

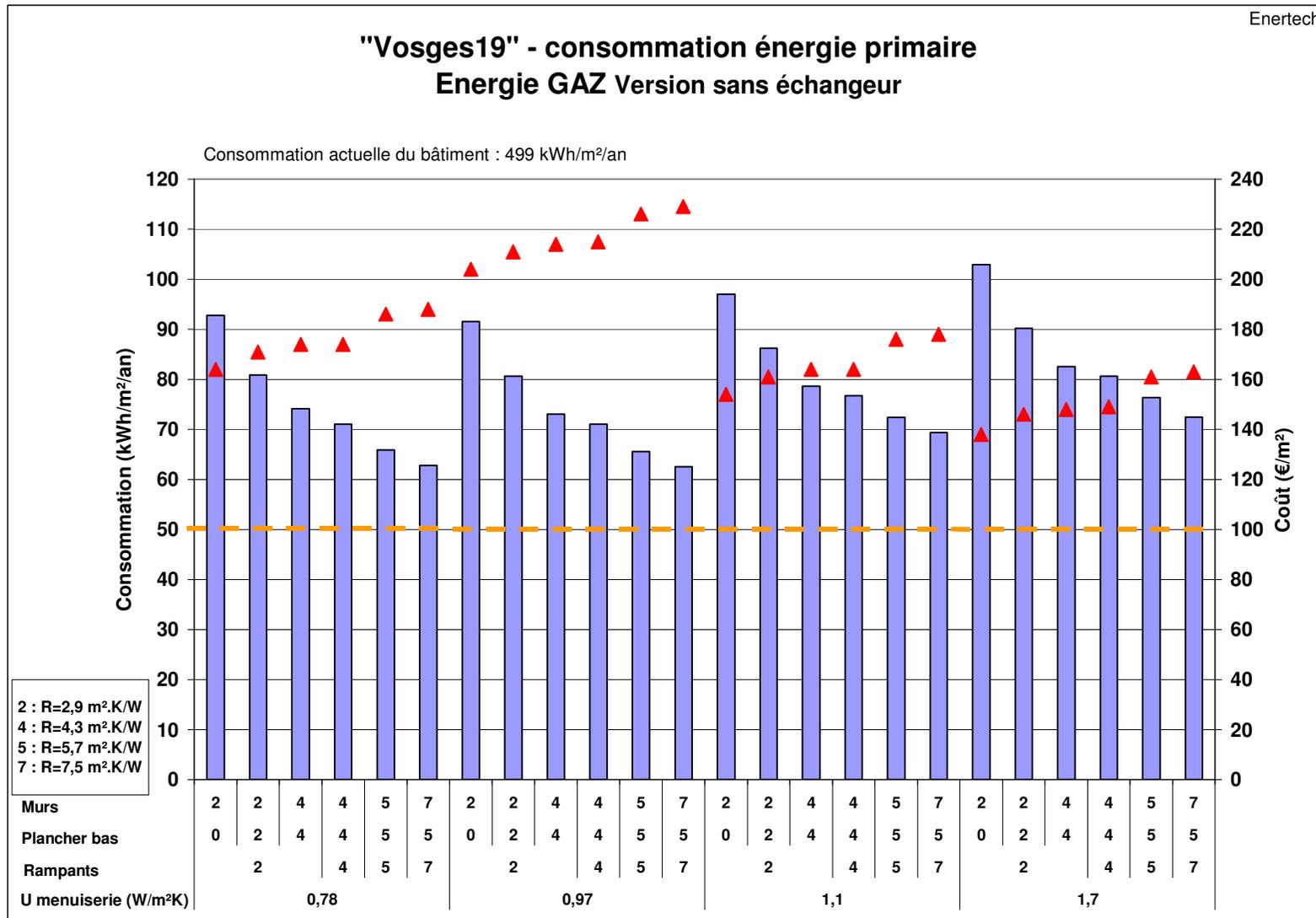


Figure 5.1 : Vosges 19 - GAZ sans échangeur de chaleur

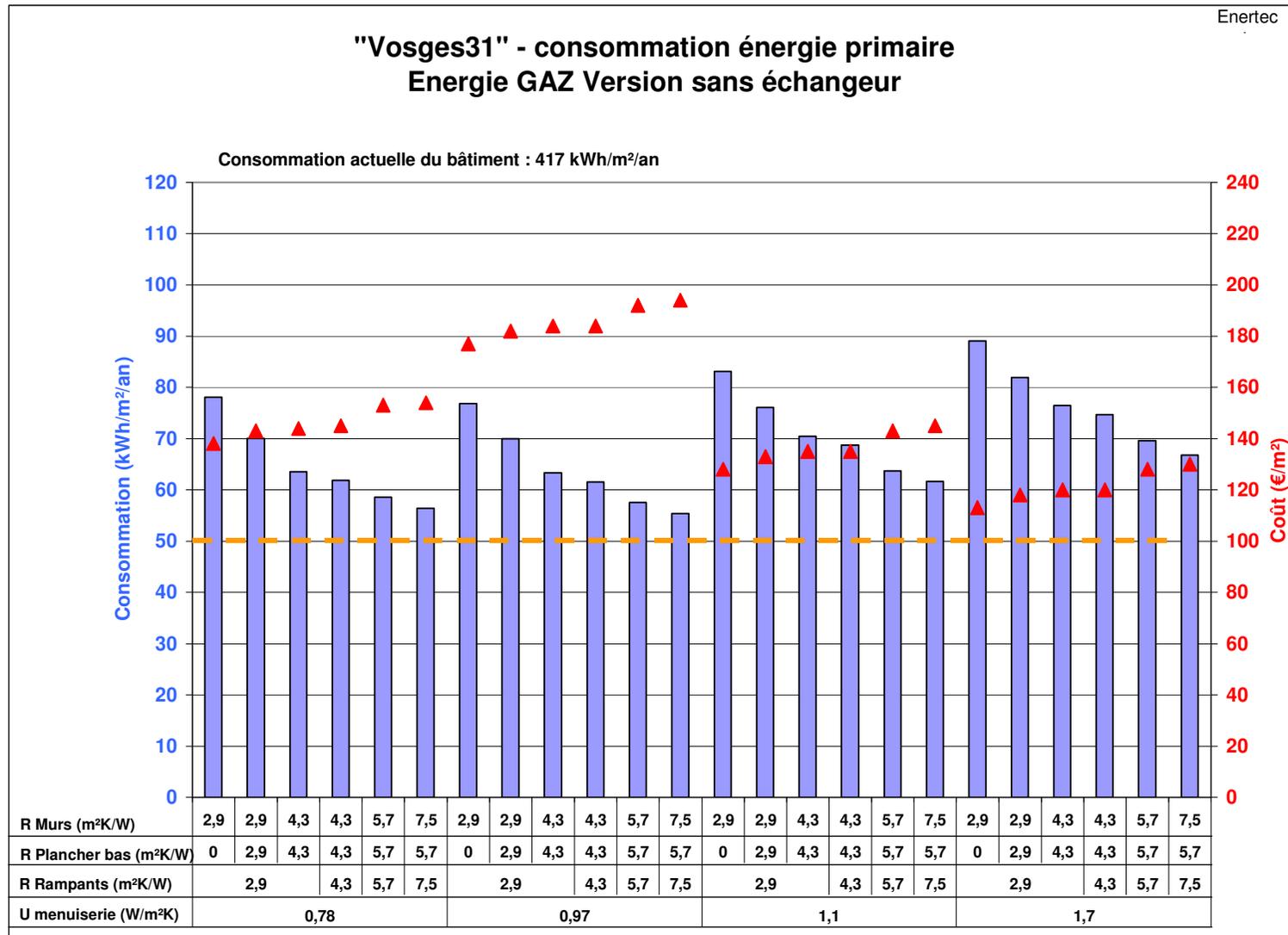


Figure 5.2 : Vosges 31 - GAZ sans échangeur de chaleur

5.2.2 Cas n°2 : avec échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait

Les figures 5.4 et 5.5 (pages 35 et 36) présentent le résultat des simulations pour les deux mêmes bâtiments, mais en intégrant cette fois-ci la présence d'un échangeur de chaleur entre air neuf et air extrait.

On observe que :

■ Pour les deux bâtiments, l'objectif de 50 kWh/m².an est très facilement atteint par de nombreuses combinaisons de solutions technologiques. Dans le cas du bâtiment sis au 31 rue des Vosges, seuls trois cas étudiés n'atteignent pas l'objectif recherché. **L'utilisation d'un échangeur entre air neuf et air extrait apparaît donc comme une solution technique incontournable.** Sans elle il n'y a pas de possibilité d'atteindre le résultat recherché. Cette première conclusion est importante, car elle va structurer profondément la nature des travaux de rénovation,

■ L'intérêt des différentes technologies de vitrage peut être apprécié avec une bonne précision. En effet, si la consommation de référence est celle du double vitrage peu émissif à lame d'argon, alors :

- le passage à un triple vitrage peu émissif à lames d'argon avec châssis bois non renforcé permet de gagner environ 4 à 6 kWh/m².an selon le niveau des autres mesures d'isolation mises en oeuvre,

- le passage à une double fenêtre, ou à un triple vitrage peu émissif à lames d'argon sur châssis bois renforcé, permet de gagner 9 à 11 kWh/m².an selon le niveau des autres mesures d'isolation mises en oeuvre.

■ On peut se demander si la performance peut être atteinte sans le recours à des vitrages triples ou à des doubles fenêtres. On accède effectivement à 45 kWh/m².an pour l'une des opérations avec des doubles vitrages à condition d'avoir une résistance de 4,3 m²K/W sur toutes les parois, mais sur la seconde opération, on n'atteint pas tout à fait la barrière des 50 kWh/m².an. On est donc tenté de penser que, compte tenu de la diversité de nature des bâtiments qui seront rénovés à Mulhouse, il serait préférable de s'engager résolument dans le choix d'un vitrage triple, ce qui fournirait une marge de sécurité pour atteindre l'objectif à atteindre. Si ce choix était accepté, la plus mauvaise des deux opérations verrait sa performance portée à 46 kWh/m².an. On disposerait ainsi effectivement d'une petite marge de sécurité. Le surcoût de cette disposition est de 15 à 16 euros TTC/m² de surface habitable.

■ quelle est, selon ces simulations, la combinaison de solutions techniques permettant de parvenir au résultat recherché pour le moindre coût ? Si on établit pour chaque technologie de vitrage, le coût de la solution permettant d'atteindre la performance maximum de 50 kWh/m².an, on obtient les combinaisons techniques et les coûts du tableau de la figure 5.3.

On observe qu'en théorie, l'objectif recherché est sensiblement atteint avec le vitrage double peu émissif à lame d'argon (bien que l'on soit à 51 kWh/m².an sur l'une des opérations), à condition d'associer la même résistance thermique à l'ensemble des parois, à savoir 4,3 m²K/W sur les murs, en sous face de plancher bas et en rampants.

	19 rue des Vosges				31 rue des Vosges			
	Coût	Résistance thermique m ² °K/W			Coût	Résistance thermique m ² °K/W		
Type de vitrage	Euros TTC/m ² hab	Murs	Planchers bas	Rampants	Euros TTC/m ² hab	Murs	Planchers bas	Rampants
Double peu émiss/argon	171	4,3	4,3	4,3	135	4,3	4,3	4,3
Triple peu émiss/argon châssis bois non renforcé	186	4,3	4,3	2,9	148	2,9	2,9	2,9
Double fenêtre	234	2,9	2,9	2,9	192	2,9	0	2,9
Triple peu émiss/argon châssis bois renforcé	194	2,9	2,9	2,9	153	2,9	0	2,9

Figure 5.3 : tableau du coût et des solutions techniques associées à chaque type de vitrage pour atteindre 50 kWh/m².an

Mais on a aussi vu que pour maintenir une petite marge de sécurité d'une opération à l'autre, il était certainement nécessaire d'adopter définitivement le triple vitrage peu émissif à lames d'argon. Le coût moyen de cette solution serait alors d'environ **167 euros TTC/m² habitable**.

5.2.3 Quelle solution technique choisir ?

Ce qui précède amène à se poser une question de fond : faut-il choisir, comme le tableau 5.3 nous invite à le faire, une solution différente pour chaque configuration de bâtiment ? Cette idée est appuyée sur le principe d'une optimisation individuelle des choix techniques. Elle est en principe, mais en principe seulement, moins chère. Elle répond à un besoin de gestion individuel de chaque maître d'ouvrage : je dois résoudre MON problème, sans me préoccuper du problème de mon voisin.

C'est une approche universellement défendue et que l'on serait donc tenté de cautionner volontiers. Mais il convient de se demander si ces présupposés sont exacts, et si la rationalité économique est effectivement la première caractéristique de cette approche. Ce n'est pas si sûr.

En effet, le principe qui sous-tend cette démarche repose sur une obligation de résultats : atteindre 50 kWh/m².an de la façon la moins chère possible. Pour cela il faudra donc que chaque maître d'ouvrage, individuellement, soit capable, par un calcul relativement sophistiqué, de déterminer quelles sont la nature et les caractéristiques des composants qu'il conviendra de mettre en oeuvre pour obtenir le résultat recherché. Cette première étape posera d'emblée d'importants problèmes à chaque maître d'ouvrage. Et puis elle aura un coût non négligeable. Enfin, elle transformera en maquis la rénovation thermique car il y aura de nombreuses combinaisons techniques pour satisfaire chacun au plus juste. Et ce maquis aura pour effet de brouiller la perception et la lisibilité de l'opération de rénovation lancée sur un quartier. Cette confusion risque tout simplement de faire échouer le projet qui sera alors jugé trop complexe, et hors de portée de chaque propriétaire.

On doit donc se demander si la bonne approche n'est pas une approche simplificatrice consistant à proposer aux acquéreurs responsables de la rénovation, un ensemble de dispositions techniques identiques pour tous, quelle que soit la nature de leur bâtiment.

Concrètement, en s'appuyant sur les graphiques des figures 5.4 et 5.5 ainsi que sur le tableau de la figure 5.3, on pourrait par exemple préconiser comme « solution universelle » la combinaison des dispositions suivantes :

- **murs isolés par l'intérieur** R = 4,3 m²K/W
- **plancher bas sur sous sol** R = 4,3 m²K/W
- **toiture** :

- en combles, aménagés ou non $R = 7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
- en rampants $R = 4,3 \text{ m}^2\text{K/W}$
- *menuiseries extérieures* : triple vitrage peu émissif à lames d'argon, sur châssis bois non renforcé. $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- *ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur* (efficacité : 70 %).

Pour les deux bâtiments étudiés ces dispositions conduisent à des consommations en énergie primaire respectivement de 46,5 kWh/m².an pour le 19 rue des Vosges, et de 39,5 kWh/m².an pour le 31 rue des Vosges. Ces consommations respectent les objectifs assignés tout en offrant une garantie et une marge de manoeuvre.

L'intérêt de proposer une solution universelle est multiple :

- simplifier la procédure de mise en place des dispositions de rénovation thermique qui devront accompagner les contrats de cession des bâtiments : l'expression des obligations incombant aux futurs propriétaires sera aisée, car il ne s'agira pas d'une obligation de résultats, mais d'une obligation de moyens. Les propriétaires disposeront de la liste des dispositions techniques à mettre en œuvre,

- simplifier la procédure de rénovation et la rendre facilement compréhensible par tous, maîtres d'ouvrage, mais aussi entreprises (artisans bien souvant). Si le plan de rénovation est facilement compréhensible par les artisans, ils l'accepteront et le respecteront. Le contraire n'aurait pas été vrai.

- simplifier la procédure de contrôle éventuelle sur chantier : le contrôleur sait exactement ce qu'il doit trouver sur les murs, les rampants, les fenêtres, etc. Il n'est pas obligé d'analyser un dossier de calcul et de prescriptions propre à chaque bâtiment,

- faciliter la formation des artisans locaux à ces chantiers de rénovation,

- rendre égalitaires les propriétaires face aux travaux à entreprendre pour la rénovation,

- sur le marché naissant de la rénovation à très basse énergie, le dispositif proposé permettra de donner très rapidement une taille critique aux marchés locaux de fournitures de composants (les fenêtres triple vitrage, les isolants de forte résistance, etc) puisque ces composants seront toujours les mêmes et qu'il n'y aura pas de nombreuses références pour un même produit. C'est important pour que le programme de rénovation proposé puisse se développer de façon rapide.

- enfin, on peut imaginer que l'unification des dispositions à prendre permettra aux banques de concevoir et de proposer des produits beaucoup plus facilement identifiables par elles !

- l'analyse des coûts montre que sur l'ensemble des deux bâtiments les coûts de cette mesure sont de 151 et de 187 euros TTC/m² (moyenne 169 euros TTC/m²). Si l'on ramène ce coût au nombre de kWh d'énergie primaire économisé annuellement, on trouve en moyenne 0,41 euros TTC/kWh d'énergie primaire économisé annuellement. Avec un prix du gaz de 0,035 euros/kWh, cela correspond à **un temps de retour inférieur à 12 ans**.

Mieux, **si la dépense de 169 euros/m² était financée par un emprunt à 5 % sur 20 ans, dès la première année l'annuité de remboursement (13,4 euros/m²) serait inférieure au montant des économies d'énergie (14,5 euros/m²).**

Pour cet ensemble de raison, nous proposons que la voie de la « solution universelle » puisse être mise en place sur Mulhouse, car elle permettrait de contribuer à la mise en place rapide et efficace du programme de rénovation. Elle apparaît comme l'une des clés de la réussite de ce programme.

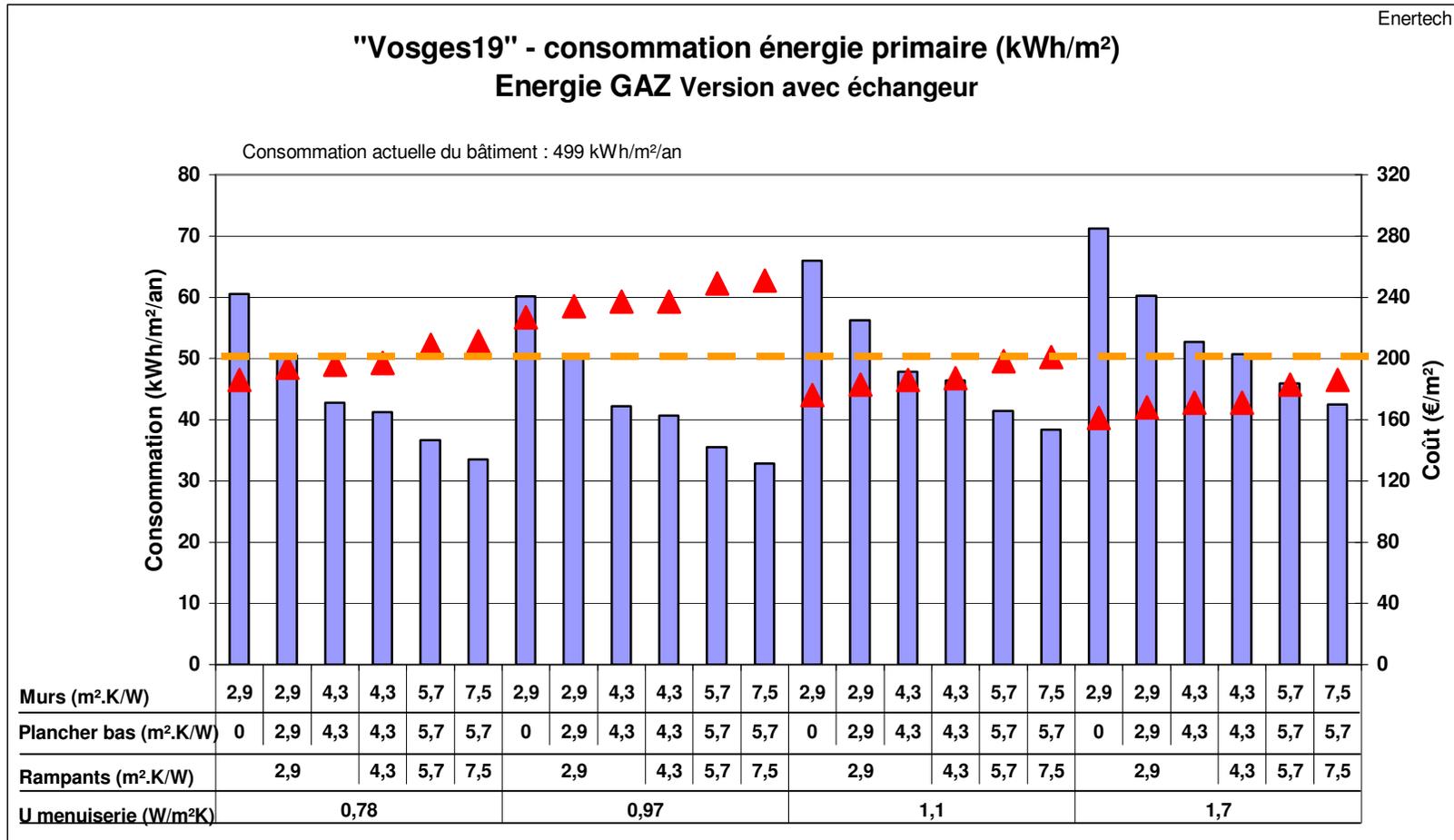


Figure 5.4 : Vosges 19 - GAZ avec échangeur de chaleur

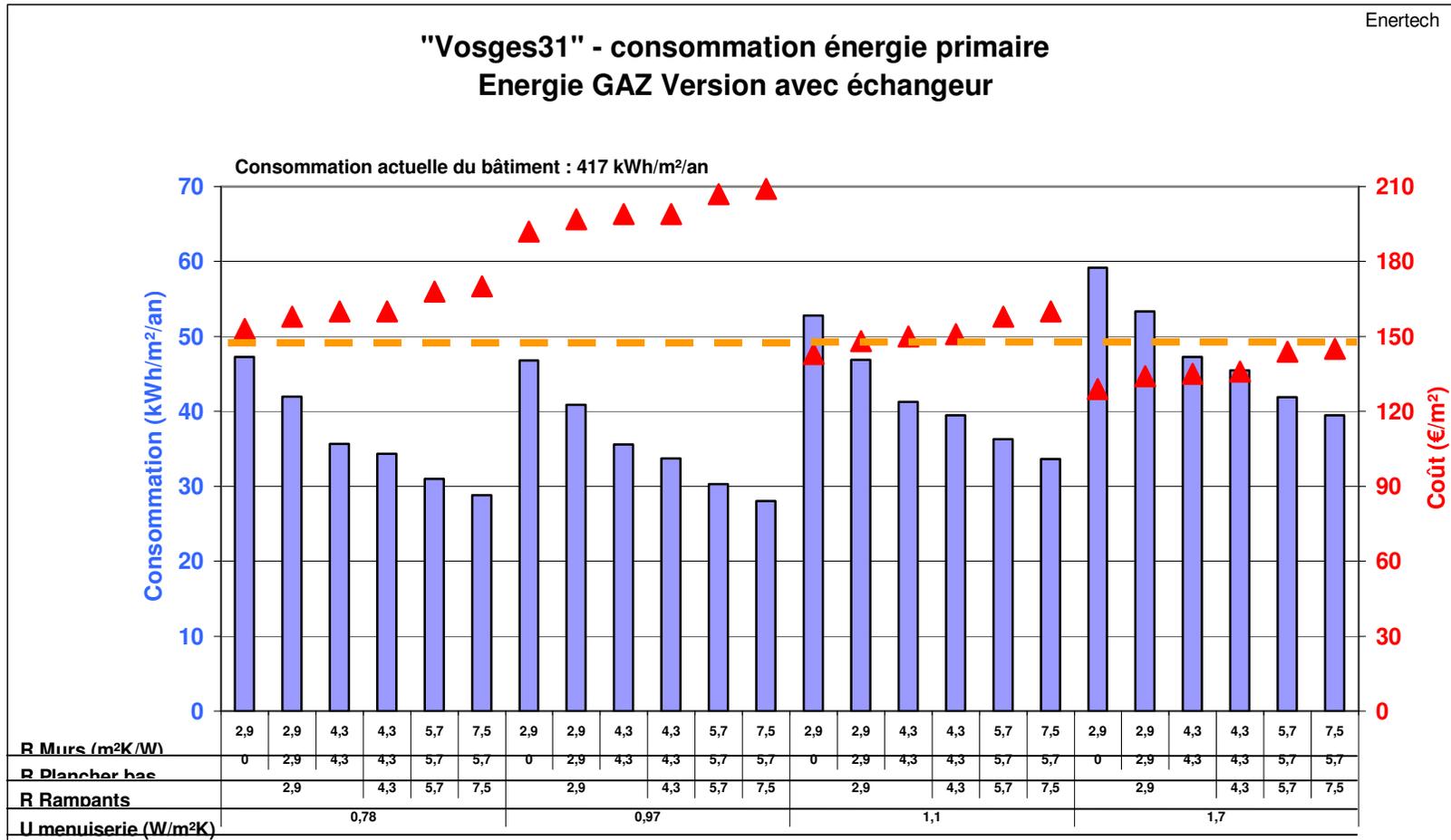


Figure 5.5 : Vosges 31 - GAZ avec échangeur de chaleur

5-3 Etude du chauffage électrique

Cette solution a été étudiée de façon exhaustive sur les deux bâtiments. Rappelons que le chauffage électrique par convecteurs a été éliminé d'emblée puisque l'objectif de performance était exprimé en énergie primaire (et non finale). La solution étudiée ici est la pompe à chaleur sur l'air extrait, avec régulation pièce par pièce, sans adjonction de résistances électriques (ou en minimisant le rôle de celles-ci). Cette technologie existe depuis longtemps en France. Mais en revanche, il faut reconnaître qu'aucun des systèmes existants, à l'exception d'un fabricant, n'est conçu dans l'optique de notre projet, à savoir une PAC entièrement autonome, régulant chacune des pièces du logement indépendamment les unes des autres. Il faudra donc prendre avec une certaine réserve les résultats concernant les PAC dans ce §.

Précisons également que dans le cas de la pompe à chaleur sur l'air extrait, il est impossible d'avoir une ventilation double flux avec échangeur de chaleur air neuf/air extrait comme pour le gaz, puisque la pompe à chaleur constitue déjà ce système d'échange et qu'elle valorise l'énergie de l'air extrait.

Les résultats apparaissent sur les graphiques des figures 5.6 et 5.7. On observe que :

- pratiquement toutes les solutions techniques permettent d'atteindre l'objectif assigné, hormis deux combinaisons de solutions pour le bâtiment sis 19 rue des Vosges,

- l'adoption d'une PAC sur air extrait permet en réalité d'annuler la dépense énergétique liée au renouvellement d'air : tout se passe comme si l'électricité consommée par la PAC ne servait qu'à compenser les pertes par les parois,

- en théorie, on voit qu'avec une PAC sur air extrait il serait en principe possible de réduire certaines résistances thermiques nécessaires pour atteindre le résultat. Par exemple, avec les mêmes résistances thermiques en parois opaques que dans la solution universelle décrite au paragraphe précédent, il serait possible de « se contenter » de fenêtres bois équipées de doubles vitrages peu émissifs à lame d'argon. Mais il n'est pas sûr que cette stratégie « à la marge » soit la bonne, car si dans le futur, et pour une raison quelconque (technique ou économique) on changeait à nouveau de système de production de chaleur pour adopter un système à combustion, les performances de l'enveloppe seraient alors insuffisantes.

- l'analyse des coûts montre aussi que, contrairement à l'idée reçue, l'adoption d'une PAC sur air extrait ne conduirait pas à un coût rédhibitoire, bien au contraire, puisque la performance de 50 kWh/m².an est obtenue, en moyenne pour la solution minimale pour un coût de **135 euros TTC/m²**. C'est moins que pour les solutions gaz. Le seul ennui est que la technologie n'est pas encore vraiment disponible...

- le coût du kWh primaire économisé annuellement est le rapport du coût d'investissement par m² à l'économie d'énergie primaire par m². Il vaut en moyenne 0,25 euros TTC, ce qui indique une excellente rentabilité, inférieur à une dizaine d'années. Financé par un emprunt à 5 % sur 20 ans, ces mesures conduirait dès la première année à des annuités de remboursement de 10,8 euros/m² plus que compensées par des économies d'énergie de 21,9 euros/m² ! Là aussi la rentabilité des travaux proposés serait excellente.

- ce résultat très favorable est dû évidemment aux performances de la PAC sur l'air extrait, à la condition expresse que la régulation terminale, pièce par pièce, ne soit pas assurée par des résistances électriques. Mais sauf erreur de notre part, ce genre de système n'existe pas encore sur le marché, les seuls matériels disponibles procédant par adjonction de résistances.

- mais l'autre raison de la performance exceptionnelle des systèmes de PAC est le coefficient d'équivalence très favorable (2,58) que nous avons pris pour passer de l'électricité à l'énergie primaire. En effet dans le secteur résidentiel, la valeur est plutôt de 3,21 selon la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières.

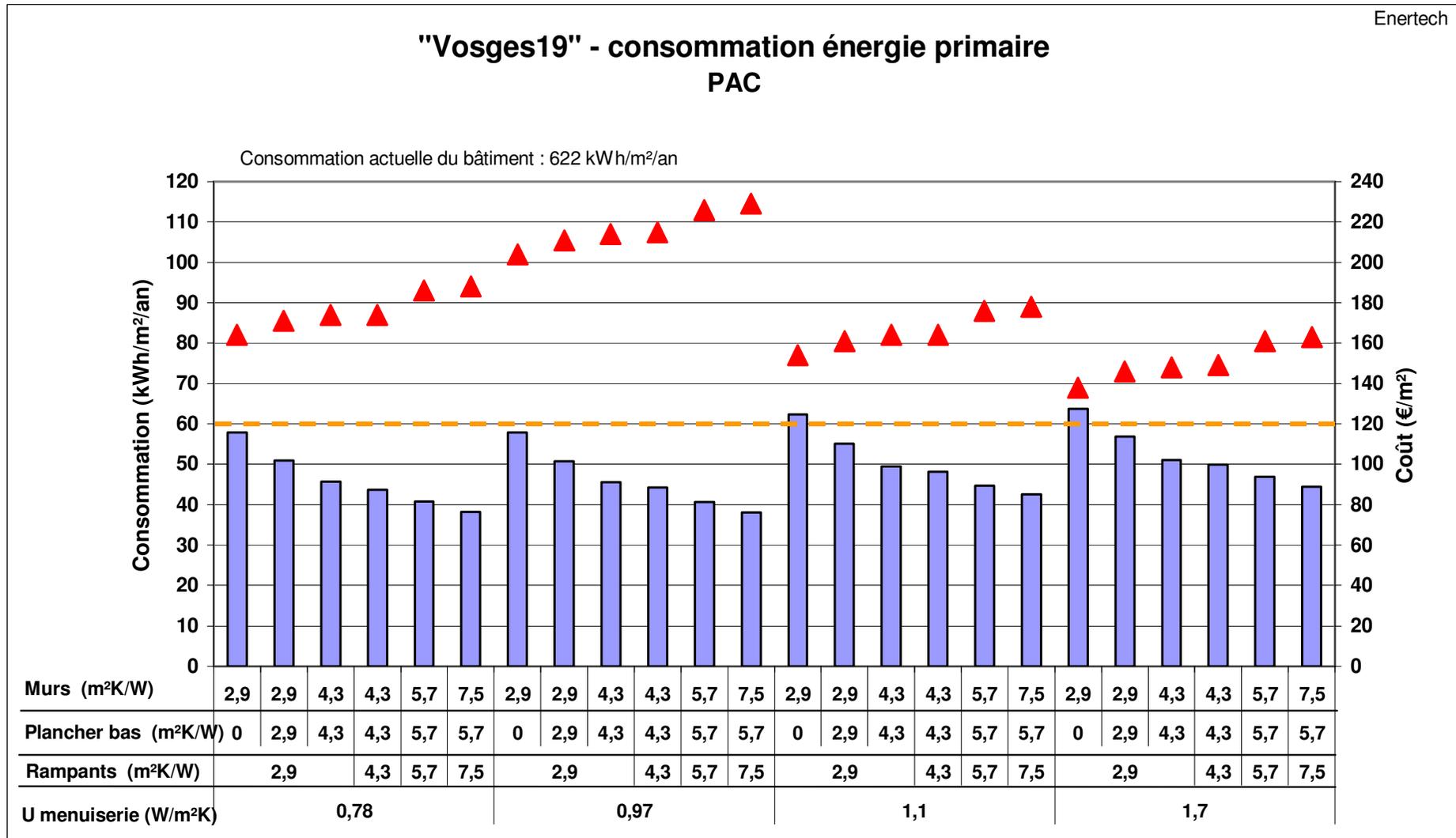


Figure 5.6 : Vosges 19 - ELECTRICITE (pompe à chaleur sur air extrait)

"Vosges31" - consommation énergie primaire PAC

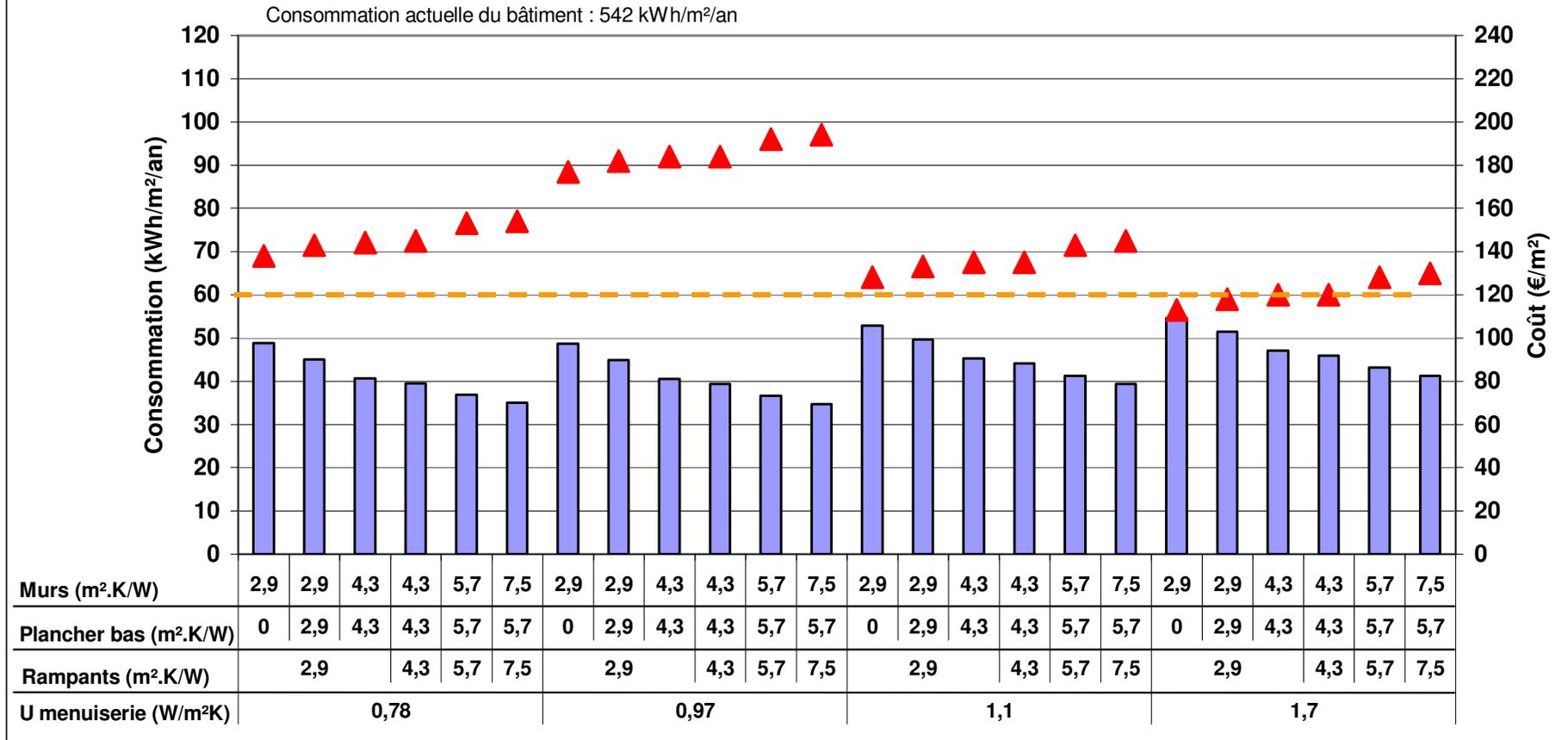


Figure 5.7 : Vosges 31 - ELECTRICITE (pompe à chaleur sur air extrait)

5-4 Les solutions techniques retenues sont-elles disponibles ?

Dans tout ce qui précède on s'est borné, comme indiqué en introduction, à analyser les conditions techniques nécessaires à la réalisation de l'objectif 50 kWh/m².an. Il faut s'interroger maintenant pour savoir si les techniques retenues dans la solution proposée sont disponibles ou non en Alsace aujourd'hui.

5.4.1 L'isolation des parois verticales

L'objectif proposé est d'ajouter aux parois verticales une résistance thermique de 4,3 m²K/W. En principe, l'isolant sera placé à l'intérieur, mais dans quelques cas, il pourra être posé en extérieur.

A l'intérieur, plusieurs techniques sont déjà disponibles. Sans entrer dans le détail, il s'agit des techniques utilisant des complexes dans lesquels l'isolant n'est pas solidaire de la peau intérieure ou de la cloison. En effet, les résistances thermiques proposés pour les solutions du type isolant/plaque de plâtre sont en général insuffisantes. Il faut donc mettre en œuvre des systèmes avec rail fixé au sol, contre cloison en brique plâtrière, ou toute autre sorte de cloison. Ces techniques ont l'avantage d'offrir des résistances thermiques élevées.

En isolant par l'extérieur, il est probable que la technique de l'enduit mince sur isolant ne sera pas possible, à cause des questions de stabilité dimensionnelle, dans l'état actuel de la technologie. Seules les solutions de bardage ou de vêtiture seront acceptables, mais pas n'importe lesquelles. En effet, le principal problème des bardages est leur poids. Plus l'isolant est épais, plus la distance du bardage à la façade est importante et plus il devient difficile de trouver des systèmes de fixation adaptés. Un travail devra être entrepris à la suite de cette étude afin de déterminer quelles sont les solutions techniques réellement disponibles actuellement en France d'une part, et dans les autres pays d'Europe d'autre part.

Mais les principaux problèmes qui vont être rencontrés concernent les détails de réalisation de l'isolation autour des ouvrants. Qu'il s'agisse des retours de tableau de fenêtres (intérieurs ou, pire, extérieurs), qu'il s'agisse des allèges ou des impostes, ces éléments de façade seront délicats à isoler, et ces travaux seront assez coûteux. Pourtant, la réalisation de ces détails devra faire l'objet d'un soin extrême afin de ne pas hypothéquer le résultat attendu.

Une autre difficulté sera celle posée par les installations de chauffage, ou tous les gros équipements (évier, baignoire, etc) placés le long des murs extérieurs et qu'il faudra bien déplacer pour pouvoir intervenir. En cas de restructuration lourde, il n'y aura aucun problème, mais en cas de stricte rénovation thermique, il faudra trouver des solutions qui pourront passer par des systèmes de kits permettant un dévoiement rapide des réseaux. Un travail avec les industriels doit être entrepris sans plus tarder sur ce point afin de développer des solutions simples et bon marché.

5.4.2 L'isolation des planchers bas

Les planchers bas des opérations mulhousiennes sont les planchers des rez-de-chaussée qui recouvrent les caves. La principale difficulté réside dans la hauteur sous plafond de ces caves, mais les épaisseurs d'isolant qui seront nécessaires semblent compatibles avec la faible hauteur sous plafond.

Il n'y a pas de difficulté technique pour réaliser des résistances thermiques de 4 à 4,5 m²K/W en sous face de plancher. On pourra fixer l'isolant par des spits, ou bien le disposer au plus juste sur des plafonds suspendus en veillant à ce qu'il n'y ait pas d'espace entre la dalle et l'isolant afin d'éviter que les mouvements d'air créent un court-circuit de l'isolant.

En revanche les techniques de flochage seront à proscrire, à la fois pour des raisons de solidité et de durée dans le temps, mais surtout parce qu'elles ne permettent pas d'atteindre les résistances thermiques recherchées.

5.4.3 L'isolation des combles

La résistance thermique exigée pour les combles est très importante (7,5 m²K/W), mais sa mise en œuvre ne pose aucune difficulté puisqu'il s'agit généralement d'isolants déroulés ou en vrac. En revanche, la mise en œuvre devra conserver plusieurs impératifs à l'esprit :

- ménager des chemins de passage pour l'accès aux différentes parties des combles, et notamment l'accès aux équipements techniques (chaudière, ventilation mécanique). Négliger cet aspect, c'est condamner rapidement les performances de l'isolation mise en œuvre. Une bonne réponse, mais un peu plus onéreuse, est de reconstruire un plancher technique (planches non rabotées) sur toute la surface des combles,

- choisir l'isolant, ou trouver moyen de le protéger, de façon à ce qu'il ne soit pas la proie des rongeurs. Les laines minérales sont rapidement détruites par certains rongeurs comme les loirs qui n'hésitent pas à les déplacer hors des combles pour faire leur nids. Même les isolants rigides (polystyrène et polyuréthane) sont attaqués. De ce point de vue, la solution du plancher technique apparaît également comme une bonne solution,

- le choix du type d'isolant sera fait en considérant à la fois ses impacts potentiels sur l'environnement et sur la santé, mais aussi en conservant à l'esprit qu'en été les combles peuvent être à des températures importantes pouvant parfois être fatales à certaines catégories d'isolant (sublimation).

5.4.4 L'isolation des rampants

La plupart des bâtiments mulhousiens à rénover possède des rampants de toiture. L'isolation de ces rampants est rendue délicate par l'importance des épaisseurs nécessaires.

Si la totalité de l'isolation est placée à l'intérieur du logement, alors la surface habitable, c'est à dire celle sous plafond à plus de 1,80 m, va se réduire d'une vingtaine de centimètres sur toute la longueur du bâtiment. Il faudrait donc :

- soit isoler le rampant en partie sous tuiles (mais on ne pourra pas dépasser au mieux 10 cm), en partie par l'intérieur (pour le solde, soit environ 5 cm). Mais cette solution sera coûteuse, et techniquement délicate à réaliser,

- soit rehausser la toiture et intégrer l'isolation, ce qui ne sera pas meilleur marché et pourra même s'avérer impossible à cause des problèmes d'abergement.

On pourra aussi considérer que l'enjeu des réductions de consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre peut justifier d'accepter une réduction des surfaces habitables (ce qui autoriserait d'isoler en totalité par l'intérieur). Il est effectivement probable que, dans la lutte de l'homme pour éviter le réchauffement climatique, il faudra bien accepter quelques concessions un peu réductrices du niveau de bien-être. Mais on se consolera en se disant que la réduction de surface habitable sera compensée par une amélioration conséquente du confort thermique !

Avant d'envisager de telles issues, on peut encore évoquer les nouvelles pistes que constituent les isolants sous vide. Leur résistance thermique, à épaisseur égale, est de 5 à 8 fois plus importante que celle des isolants classiques. Ainsi, **treinte millimètres** pourraient suffire à isoler les rampants au niveau souhaité. Ce type de matériau est déjà commercialisé, notamment en Suisse. Les principales difficultés que présentent les isolants sous vide sont d'une part le maintien de leur intégrité physique (il est hors de question de planter un clou pour suspendre un tableau au droit d'un isolant sous vide), l'habillage de l'isolant (qui reste un matériau

d'isolation, pas un revêtement de surface !), et surtout le maintien dans le temps de leurs performances thermiques, en relation évidemment avec la dégradation du vide dans l'isolant. Si des isolants sous vide sont utilisés, il faudra essentiellement se préoccuper de choisir des matériaux dont le constructeur maîtrise et garantit les techniques de régénération du vide. Certains constructeurs, notamment japonais, disposent aujourd'hui de ce savoir faire.

Quoiqu'il en soit, la transformation thermique des rampants restera l'un des points techniques délicats des opérations de rénovation.

5.4.5 Les menuiseries extérieures

Le parti a été pris dans ce qui précède, de systématiser, comme en Allemagne, en Suisse ou en Autriche, la mise en œuvre de fenêtres en bois équipées de triple vitrage peu émissif à lames d'argon. Mais, afin de tenir compte du contexte français, l'ensemble des simulations a été mené en supposant la mise en œuvre de menuiseries thermiquement non renforcées conduisant à un U_w de 1,1 W/m²C (au lieu de 0,7 à 0,8 en Allemagne).

Ce choix pose, dans l'immédiat, un problème spécifiquement français : nous ne fabriquons sur le territoire national, ni de triple vitrage, ni de menuiserie adaptée....

Toutefois, deux solutions sont possibles :

- l'Europe étant une réalité économique quotidienne, rien n'est plus simple que d'aller acheter le matériel nécessaire outre Rhin. Le seul inconvénient est peut-être le coût relativement élevé des produits allemands. Les fenêtres triples vitrages les moins chères que nous ayons trouvées sont de 350 euros HT/m², pour une valeur de U_w de 0,70 W/m²C,

- profiter de la dimension de l'opération mulhousienne, et des opérations lancées par la région Rhône Alpes, pour initier un marché en France. Pour cela il faut trouver du triple vitrage d'une part, et des menuisiers intéressés par la réalisation de nouveaux profils d'autre part.

Le triple vitrage est fabriqué couramment par au moins deux industriels : Interpane et St Gobain. Le premier est déjà représenté en France et pourrait parfaitement approvisionner immédiatement le marché alsacien proche de la frontière. Le second fabrique du triple vitrage pour l'Allemagne, la Suisse et l'Autriche et n'aurait guère de difficulté pour fournir le marché français. Des contacts sont en cours en ce sens.

Il y aurait un grand intérêt à ce que des menuisiers entrepreneurs commercialisent en France des profils adaptés à des vitrages épais. L'un d'entre eux, la menuiserie Bieber (67430 Waldhambach), est précisément en Alsace et nous avons rencontré son dirigeant. Celui-ci est très intéressé à l'idée de développer une filière adaptée à notre demande. Mais peut-être n'est-il pas le seul, et d'autres contacts permettront de créer une petite concurrence et une émulation saine, mais qu'il conviendra de modérer, sur ce marché naissant.

5.4.6 La ventilation double flux avec récupération de chaleur

Cette technique n'est pas franchement nouvelle. Elle existe depuis plus de 25 ans en France. Mais elle n'a que très peu été mise en œuvre dans le secteur résidentiel, essentiellement au début des années 80, lorsque le prix de l'énergie était élevé, conséquence du second choc pétrolier.

Le principe de la ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur est simple : l'air est à la fois insufflé et extrait de chaque logement par un double réseau de conduits, et ces réseaux se rejoignent au niveau d'un échangeur de chaleur qui permet la récupération de l'énergie de l'air extrait vers l'air neuf. C'est ainsi, du moins dans sa version centralisée, que se présente la technologie du double flux.

Les installations françaises réalisées jusqu'à présent ont deux points faibles : une mise en œuvre généralement peu performante (déséquilibre aéraulique, bruit, etc), et un rendement des échangeurs de chaleur que l'on peut aujourd'hui juger d'insuffisant. Ce rendement, pendant de nombreuses années se situait entre 50 et 60 %, et il se dégradait en général avec l'âge des

équipements (déséquilibre des débits, encrassement des échangeurs, etc). Les choses ont un peu progressé, mais à notre connaissance, le meilleur échangeur construit en France aujourd'hui n'a qu'un rendement de 82%.

En Allemagne, la technologie est la même qu'en France : c'est celle des échangeurs à plaques. Mais un effort de recherche considérable ces dernières années a permis de développer des rendements de 95 à 99 %, essentiellement par une augmentation des surfaces d'échanges, et par voie de conséquence de l'encombrement, des matériels.

Lors du salon Passivhaus de Böblingen en Allemagne fin février 2005, nous avons pu rencontrer de très nombreux fabricants et juger de la maturité des solutions proposées. Dans la plupart des cas, les constructeurs ont même doté les caissons double flux de moto-ventilateurs à vitesse variable permettant donc une économie supplémentaire sur les consommations d'électricité.

Mais le parti pris en Allemagne est celui d'échangeurs individuels en immeuble collectif. La réglementation allemande interdit en effet les solutions collectives, à l'inverse de ce qui se passe en France.

Les simulations qui ont été conduites dans la présente étude ont fait l'hypothèse que l'installation de ventilation serait collective (la configuration est effectivement très favorable), mais rien n'interdit lors de la réalisation de choisir des solutions individuelles. Celles-ci ont des avantages indéniables, comme une plus grande facilité de mise en œuvre et de réglage, et surtout, la possibilité de réduire, voire d'arrêter (bien que ce ne soit pas légal en France), la ventilation en cas d'absence. Il faudra dans ce cas trouver des solutions pour éviter que les prises et rejets d'air de chaque logement se fasse en façade (mitage de la façade...).

Dans la rénovation proposée à Mulhouse, le problème de la ventilation se pose de manière relativement simple parce que tout le bâtiment est rénové, et non chaque logement de manière individuelle. Ceci a permis de proposer un système de ventilation centralisée, ce qui est fabriqué et maîtrisé en France. Mais s'il avait fallu rénover chaque logement de manière individuelle (c'est à dire indépendamment des autres logements de l'immeuble), alors la solution de la ventilation centralisée ne pourrait pas être proposée, et il faudrait revenir à des solutions de ventilation individuelle.

Deux voies existent actuellement pour cela :

- la voie décrite précédemment par laquelle chaque logement dispose, comme en maison individuelle, d'un échangeur centralisé localisé par exemple en faux plafond des circulations. Ces systèmes sont fabriqués en Allemagne, mais aussi en France (mais avec de moins bons rendements d'échangeur) ,

- les systèmes décentralisés sont uniquement fabriqués en Allemagne. Il s'agit de solutions originales traitant le renouvellement d'air pièce par pièce (et non pas par logement). Dans un petit module qui se pose dans l'épaisseur des murs, on trouve de façon miniaturisée un échangeur et deux micro-ventilateurs. Ces systèmes présentent l'avantage considérable de n'exiger aucun réseau de distribution. Mais ils sont relativement onéreux, étant fabriqués en Allemagne. A Mulhouse, cette solution ne sera pas nécessaire.

5.4.7 Le chauffage et les équipements techniques associés

Toutes les simulations qui précèdent ont été conduites, si l'énergie gaz est retenue, avec une production de chaleur par chaudière à condensation. Cette technologie, inventée en France à la fin des années 70, s'est d'abord développée industriellement chez nous. Puis, à la fin des années 80, les cours excessivement bas du pétrole ont eu raison d'elle, en tout cas pour les modèles de petite puissance. C'est désormais par les pays du nord de l'Europe que la technologie est revenue en France où les constructeurs ont ressorti leur ancien savoir-faire. Il faut donc considérer qu'il n'y aura aucune difficulté technique à pourvoir à la production de chaleur performante dans les logements rénovés.

L'usage de la condensation sera même valorisé si l'on décide, ce qui serait souhaitable d'un point de vue environnemental, de réutiliser les anciens radiateurs. En effet, ces émetteurs ont été jadis dimensionnés pour des régimes de température élevés (comme 90/70°C). La rénovation va considérablement réduire les besoins, si bien que les émetteurs vont devoir travailler à des régimes très bas comme 40/30°C par exemple. Or ces nouveaux régimes seront très favorables pour la condensation puisque l'eau des retours sera en permanence à très basse température. Le rendement des chaudières sera donc maximum toute l'année.

Le problème qui semble le plus préoccupant aujourd'hui, concernant le chauffage, attrait aux systèmes de régulation, et notamment à la régulation terminale. Celle-ci est aujourd'hui traditionnellement assurée par les robinets thermostatiques.

Lorsqu'on se trouve dans les conditions nominales prévues lors de la conception (température ambiante inférieure ou égale à la température de consigne, pas d'apports internes) la vanne thermostatique est grande ouverte et laisse passer un débit nominal qui assure la couverture des déperditions. Lorsque la température ambiante augmente, que ce soit grâce aux apports internes (présence des habitants), aux apports issus des usages électriques ou de la cuisson, ou aux apports solaires par les baies vitrées, la tête thermostatique se dilate et commence à agir sur la vanne en la fermant progressivement. Cette fermeture est lente et s'étale sur une plage d'un peu plus de 2 °C. Cela signifie que la fermeture complète n'est obtenue qu'à partir d'environ 21 °C, et que dans cet intervalle, le système de chauffage a continué à fournir de l'énergie au radiateur alors que la consigne de 19 °C était déjà atteinte. Ces deux degrés représentent une perte de rendement de la régulation finale. Baisser la valeur nominale de la consigne en agissant sur la tête du robinet thermostatique ne peut se faire que momentanément par une action volontaire de l'occupant lorsque des apports gratuits se profilent, ce qui n'est pas très simple à prévoir. En outre, il devra prendre soin de replacer la tête dans la position initiale lorsque ces apports gratuits disparaissent, au risque d'obtenir une température ambiante trop basse.

C'est donc la technologie même de la vanne thermostatique qui montre ses limites. Il est vrai que son coût est bas, sa mise en œuvre simple et sa maintenance réduite.

Mais les inconvénients mis en évidence deviendront d'autant plus importants que, dans l'avenir, les bâtiments verront leurs déperditions baisser et leurs apports augmenter.

Il faut d'ors et déjà se tourner vers les fabricants pour qu'ils imaginent des équipements de régulation peu coûteux, basés sur une régulation fine de type électronique venant agir de façon très rapide sur le débit arrivant au radiateur. Ainsi, une réponse quasi immédiate, ou anticipée, permettra d'améliorer la récupération des apports gratuits et de baisser les consommations de chauffage de façon très significative.

Nous avons trouvé des systèmes allemands qui s'adaptent sur le pointeau de la vanne du robinet thermostatique (dont on retire donc l'élément régulant) et qui permettent, semble-t-il, une action plus efficace sur le pilotage du radiateur. Il faut encore attendre pour juger de ces systèmes que nous sommes en train de tester dans nos propres bureaux. Mais ils sont évidemment plus chers que les robinets thermostatiques (65 euros HT, contre 30 euros pour un robinet thermostatique posé), et ils semblent un peu fragiles (mais cette fragilité est acceptable pour le secteur résidentiel).

Nous avons également trouvé un document allemand faisant la synthèse des systèmes de régulation performants actuels¹. Il se confirme que les bâtiments à très faible consommation d'énergie devront impérativement recourir à des dispositifs de régulation beaucoup plus performants que ceux qui existent aujourd'hui, au risque de ne pas maîtriser le niveau de consommation et de ne pas tirer parti des apports gratuits.

¹ « Zentrale Einzelraum Temperaturregler für Gebäude » - Bremer energie institut - November 2004

5.4.8 L'étanchéité à l'air des bâtiments

Dès la fin des années 70 l'Université de Berkeley en Californie s'était préoccupée d'évaluer les qualités d'étanchéité à l'air des bâtiments. Pour cela, les chercheurs avaient développé le « test de la porte soufflante ». Cela consistait à remplacer la porte du logement par une porte étanche, munie d'un ventilateurs et d'un manomètre différentiel. On mettait ensuite la maison en dépression ou en surpression, et on déterminait le débit spécifique de fuite, ainsi d'ailleurs que les passages préférentiels de ces fuites.

En 1985, le CETE de Lyon publia une étude très intéressante sur l'étanchéité à l'air des différentes catégories de parois opaques². Cette étude n'a malheureusement eu guère d'impact en France.

Aujourd'hui, le label Passivhaus en Allemagne n'est décerné qu'aux logements passant de façon satisfaisante le test de la porte soufflante. Ceci ne correspond pas bien évidemment à une mode, mais à une nécessité. Car dans les logements à très faibles besoins, le poids du renouvellement d'air est dominant. Dès lors, toute absence de contrôle des débits d'air neuf, quelle qu'en soit leur origine (contrôlée ou parasite), peut devenir catastrophique, sur le confort d'abord (température inférieure à la consigne à cause d'une puissance insuffisante des émetteurs), et sur la consommation d'énergie ensuite. Les allemands l'ont bien compris.

Rendre étanche à l'air un logement ne s'improvise pas sur le chantier, et ne se règle pas avec un usage immodéré de la pompe à joint.... C'est plutôt le résultat d'une bonne conception d'abord, et d'un soin maniaque au cours de la réalisation. On trouve en Allemagne des entreprises produisant des rubans adhésifs se fixant sur tous les types de support, quelle que soit la nature des matériaux, et quelle que soit leur forme (passage des tuyaux au travers de parois, etc).

Les projets de rénovation de Mulhouse devront impérativement s'inspirer de cette façon de faire. Certes nous n'avons pas en France une grande pratique dans ce domaine, mais il faudra justement apprendre ensemble à mieux concevoir et mieux construire étanche !

² « Etanchéité à l'air des logements » - Marc Kilberger (Cete) - Revue CVC juin-juillet 1986

CHAPITRE 6 : LE CONFORT D'ETE

6-1 Résultats des simulations sur le confort d'été

La modélisation dynamique permet d'analyser le comportement des bâtiments en tout instant de l'année, et notamment durant les mois d'été.

Les simulations étant assez lourdes, nous les avons bornées à un seul cas. C'est celui du bâtiment sis au 19 rue des Vosges, pour lequel on a pris en compte les mesures proches de celles préconisées dans la solution universelle, à savoir :

- résistance thermique supplémentaire de 4,3 m²K/W sur les murs et en combles,
- résistance thermique supplémentaire de 2,9 m²K/W en rampants,
- pose de triple vitrages peu émissifs à lames d'argon sur châssis bois,
- ventilation mécanique double flux avec un échangeur de rendement 70 %.

La consommation résultante de chauffage est de 48 kWh/m².an (énergie primaire gaz).

Le graphique de la figure 6.1 représente les fréquences cumulées des températures intérieures au cours de la période juillet août.

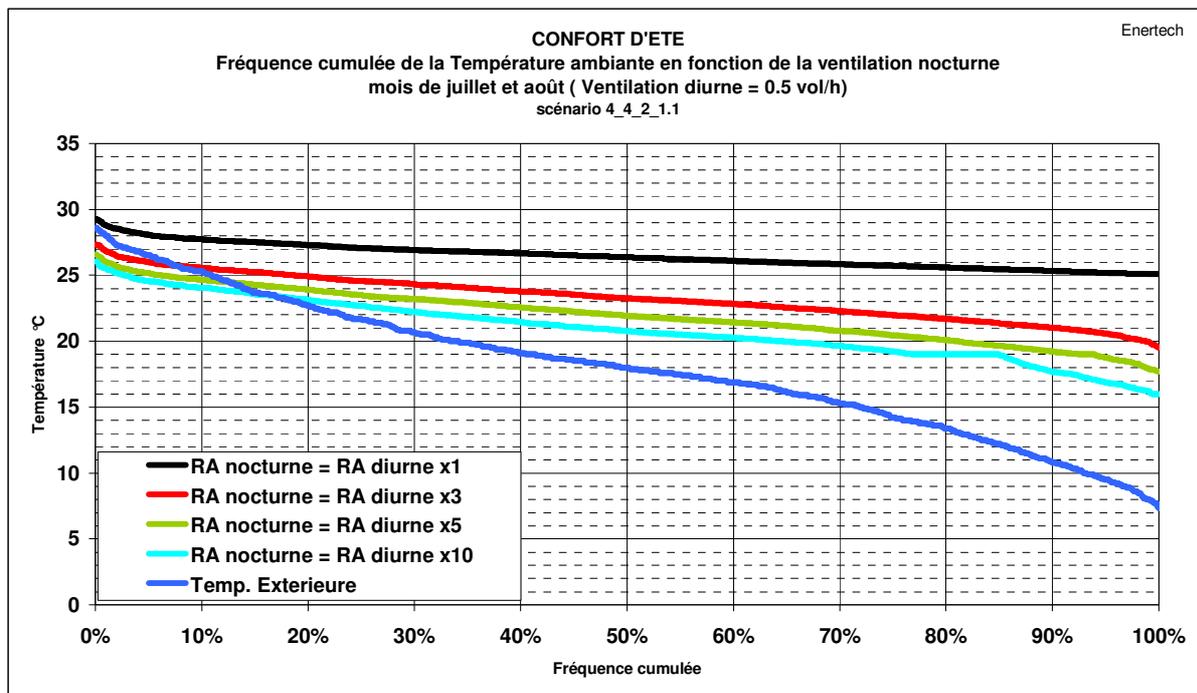


Figure 6.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures durant la période juillet août (bâtiment du 19 rue des Vosges)

Ce type de graphique est obtenu en classant toutes les températures horaires calculées dans l'intervalle d'étude, de la plus élevée à la plus faible. En abscisse, on obtient l'ensemble des mesures (100%) ou aussi la totalité de l'intervalle d'étude (2 mois). A titre d'exemple, sur le graphique de la figure 6.1, on peut lire que pendant 60 % du temps en juillet août, la température intérieure est supérieure à 26°C lorsque le débit de renouvellement d'air nocturne est également au débit de renouvellement d'air diurne (courbe noire en partie haute du graphique).

Ce graphique permet d'observer que :

- un confort très relatif sera atteint dans ce bâtiment en été, si on ne change rien à la manière dont les gens vivent actuellement dans les logements, et aux équipements dont ils disposent (voir plus loin). En effet, on voit que lorsque le débit de renouvellement d'air est le même le jour et la nuit et qu'il est assuré par la VMC (dont l'échangeur est bypassé en été), la température limite de confort de 27°C est dépassée 27,6% du temps, soit en moyenne 6h 10 minutes par jour. On ne peut pas qualifier cela de confortable....

- le débit de renouvellement d'air la nuit est le principal paramètre permettant d'assurer le confort en été. En effet, si le renouvellement d'air la nuit est trois fois plus important que la journée (ce qui s'obtient facilement par ouverture des fenêtres), alors la température intérieure limite de 27°C ne sera plus dépassée que 0,8% du temps, soit en moyenne 12 minutes par jour. Ce résultat est quant à lui satisfaisant. Mais il traduit le fait que les usagers doivent impérativement dormir fenêtre ouverte durant l'été. En soi, ceci n'a rien de choquant. En revanche, il faudra s'assurer que les conditions de cette ouverture sont réunies. Il s'agit essentiellement que le bruit de la rue soit faible, et que les risques d'effraction soit inexistant dans l'esprit des occupants.

- avec un débit nocturne supérieure de cinq fois au débit diurne, la température maximale ne dépassera jamais 26,4°C dans le bâtiment. Ce débit peut également être atteint avec une fenêtre grande ouverte la nuit,

- enfin, si le débit de nuit est dix fois supérieur au débit diurne, alors la température de 25°C ne sera en moyenne dépassée que 40 minutes par jour. Ceci montre bien le poids essentiel du débit d'air la nuit.

- dernière observation : il est intéressant de noter que dans des bâtiments performants mais dans lesquels les apports internes n'ont pas été particulièrement réduits, la température intérieure est au cours de l'été supérieure en permanence à la température extérieure lorsque le débit de ventilation est le même le jour et la nuit. Si ce débit est trois fois plus important la nuit que le jour, alors la température intérieure est supérieure à la température extérieure pendant 92 % du temps !

6-2 Stratégie pour assurer le confort d'été

Ce qui précède est une illustration de ce qui se passe l'été dans les bâtiments performants consommant peu d'énergie.

En effet, les travaux que nous avons déjà conduits sur des bâtiments performants au travers d'importantes campagnes de mesure³, ont montré sans ambiguïté que les bâtiments à faible consommation d'énergie étaient ceux qui étaient le plus sensibles au confort d'été.

Ces bâtiments se comportent comme une bouteille thermos. Et tous les apports de chaleur qui y pénètrent (apports solaires, mais aussi apports internes) ne peuvent que difficilement en ressortir. Ils se transforment obligatoirement en chaleur, et donc en inconfort. Dans l'immeuble étudié au cours de l'étude citée précédemment, on a montré que les apports

³ « Bâtiments de logements HQE économes en énergie et en eau - Programme Restart - Evaluation des performances » - Enertech - Avril 2004

internes étaient tellement importants qu'ils pouvaient à eux seuls maintenir en permanence la température intérieure à un niveau supérieur de 5°C à celui de la température extérieure !

Le développement des logements à faible consommation d'énergie doit donc toujours s'accompagner d'une stratégie cohérente et efficace de lutte contre l'inconfort estival.

Cette stratégie comporte plusieurs niveaux d'action :

6.2.1 Contrôler les apports solaires

Il faut faire en sorte qu'en été le rayonnement ne puisse que momentanément pénétrer à l'intérieur du logement. Cet exercice est aujourd'hui assez bien maîtrisé par les architectes consciencieux. Il repose sur toutes sortes de techniques connues et que nous ne présenterons pas ici. Retenons que, selon les campagnes de mesure, l'efficacité de ces dispositions est avérée : elles conduisent bien à une très forte limitation des apports de chaleur dans les locaux de la façade Sud dont la température moyenne n'est que de quelques dixièmes de degrés plus élevée que celle des locaux de la façade Nord. Retenons également qu'une véranda bien conçue est un dispositif permettant d'améliorer le confort d'été des pièces adjacentes, car elle réduit la température de ces pièces (alors que beaucoup de gens imaginent le contraire).

Ce contrôle des apports solaires est un préalable qu'il faut considérer comme ne présentant pas de difficulté technique.

6.2.2 Réduire les apports internes

En second lieu, il faut mettre en oeuvre une stratégie très inventive pour réduire les apports internes. En logement social, la structure de ces apports, telle qu'elle apparaît au travers des mesures effectuées, est dominée par les apports électro-domestiques (figure 6.2).

Par ordre d'importance, les principales sources d'apports internes sont l'électroménager (39,2 %), les apports humains (28,2 %) et la cuisson (17,3%). Ces trois sources représentent 85 % du total des apports. Mais il existe encore d'autres sources comme la chaleur apportée en permanence par la distribution d'eau chaude sanitaire bouclée, celle apportée par l'usage même de l'eau chaude sanitaire, etc.

Usages	%
Electricité spécifique dans les logts	39,2
Electricité des services généraux	6,1
Cuisson	17,3
Distribution ecs dans les logements	4,0
Eau chaude sanitaire	5,2
Apports humains	28,2
Total	100,0

Figure 6.2 : Structure des apports internes dans des logements sociaux

Voyons quelles dispositions devraient être mises en place pour réduire ces sources :

■ apports électrodomestiques

La réduction des consommations d'électricité a déjà fait l'objet de beaucoup d'études et de campagnes de mesure⁴. Il faudrait se fixer comme objectif de diviser par deux les

⁴ « Connaissance et maîtrise des consommations des usages de l'électricité dans le secteur résidentiel » - Olivier SIDLER - Téléchargeable gratuitement sur <http://perso.club-internet.fr/sidler>

consommations moyennes observées couramment aujourd'hui. Ceci conduirait à une consommation moyenne par logement d'environ 1000 kWh/an, ou de 250 kWh/pers/an. La réduction de température consécutive à cette économie serait, selon les cas, d'environ 1,0 à 1,5 °C.

Qu'il soit nécessaire de réduire de façon drastique les consommations d'électricité spécifique dans les logements pour des questions de confort d'été doit désormais contribuer fortement à relancer la politique de MDE en France. Les pistes à développer sont les suivantes (cet aspect sera complété dans le chapitre 7) :

- réduire et supprimer les consommations de veille. Cela touche pratiquement tous les appareils. Mais pour y parvenir il faut une intervention des occupants, au moyen de prises de courant commandées soit par interrupteur, soit par télécommande infrarouge.

- Généraliser l'éclairage par lampes fluocompactes. Ces lampes devraient devenir le standard de la construction. Elles devraient équiper tous les logements sociaux livrés. On pourrait imaginer de les rendre obligatoires dans le programme de rénovation mulhousien.

- Regrouper dans des espaces collectifs à l'extérieur des logements toutes opérations de lavage et de séchage du linge. Voici de nombreuses années que nous plaçons pour cette solution, à l'image de ce qui se fait en Suisse ou aux Etats Unis (pays peu suspects de collectivisme). Ces opérations pourraient être faites en sous sol, dans des espaces communs mais clos, au moyen de machines de grande qualité énergétique. On réduirait le coût des logements, on diminuerait le coût d'investissement pour les locataires, on simplifierait les déménagements et on réduirait fortement les dégagements de chaleur dans les logements.

A défaut de ce type de solution, si les machines devaient rester dans les logements, il faudrait apprendre à chacun l'usage des cycles à 30°C, beaucoup moins consommateurs d'énergie.

- Inciter les usagers à utiliser des appareils de froid ménager de classe A+ ou A++. Ce n'est certes pas très facile. On pourrait là aussi proposer une solution observée en Suisse où, dans la plupart des logements, les cuisines sont livrées tout équipées. On pourrait ainsi fournir des appareils de froid de classe A+ ou A++, correctement posés (pas dans un placard...) et au fonctionnement optimisé.

- Inviter les usagers à couper tous les appareils ou foyers lumineux qui ne sont pas utilisés. L'une des principales sources d'économie d'électricité consiste simplement à arrêter les usages et les appareils qui ne sont pas nécessaires.

- Commander l'éclairage des pièces principales au moyen d'un interrupteur doublé d'un détecteur de présence. Ceci permettrait de décider des moments pendant lesquels on veut bénéficier de lumière (grâce à l'interrupteur), puis de limiter le fonctionnement de l'éclairage aux seuls instants de présence. Aucune étude et aucune campagne de mesure n'ont été faites sur le sujet, mais on peut penser que le gisement est relativement important.

- la TV pose un problème spécifique délicat, car elle est de plus en plus utilisée et il y en a de plus en plus dans les logements. On en trouve fréquemment 3, voire 4, qui fonctionnent souvent simultanément. Ce point n'est certes pas du ressort du maître d'œuvre, mais 4 appareils en marche dégage 3 à 400 W. Bien que les apports calorifiques de ces appareils n'apparaissent pas explicitement dans le détail des apports internes du tableau de la figure 6.2., ils ont certainement un poids important.

■ apports de la cuisson

La cuisson n'est jamais abordée comme une composante du confort d'été. Pourtant, son rôle est important. Les campagnes de mesure que nous avons faites sur le sujet⁵ ont montré que la consommation d'énergie pour la cuisson est fortement saisonnière et, bien heureusement, minimum en été.

⁵ « Etude expérimentale des appareils de cuisson dans 100 logements - Projet Ecuel » - Cabinet SIDLER - 1996 - Commission des Communautés européennes. Téléchargeable gratuitement sur <http://perso.club-internet.fr/sidler>

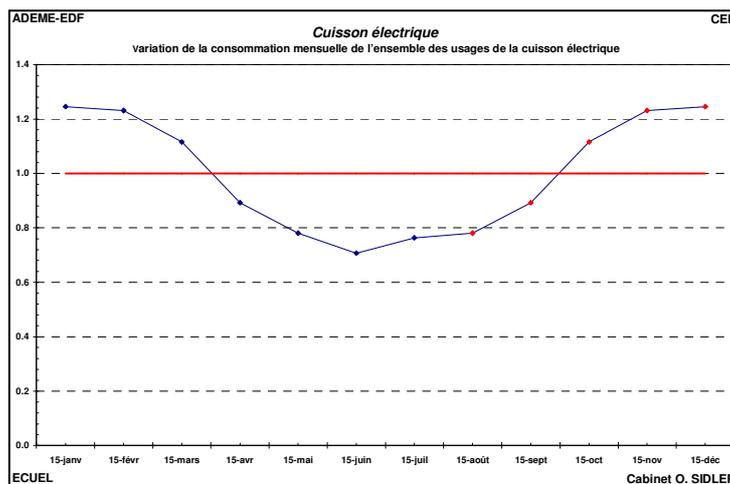


Figure 6.3 : saisonnalité des usages cuisson (campagne Ecuel sur 100 logements)

Malgré cela, les mesures faites montrent que cette consommation représente encore, en moyenne, plus de 17 % des apports de chaleur. L'objectif qu'il faut s'assigner est une division par 4 des consommations actuelles, ce qui porterait à environ 200 kWh/an la consommation de la cuisson. La température intérieure pourrait ainsi être réduite de 0,7°C. Quelles sont les améliorations possibles ?

- Il faut évidemment informer les usagers,
- Il faut se rapprocher des constructeurs de fours et obtenir rapidement une surisolation de leur matériel. Il faudrait normalement une quantité d'énergie dérisoire pour cuire un poulet ou une dinde ! Les fours seraient chauffés en début de cuisson, puis l'apport de chaleur serait supprimé et la cuisson se poursuivrait seule.
- Réduire la chaleur perdue par les casseroles a déjà fait l'objet d'innovations. On trouve en Suisse des casseroles surisolées qui permettent de ne consommer qu'une très faible quantité d'énergie. D'autres dispositifs doivent être maintenant développés par les constructeurs à un prix meilleur marché que ce que l'on trouve en Suisse (environ 150 Euros la casserole !).

■ apports de la boucle d'eau chaude sanitaire

Ces apports ne représentent, dans l'immeuble qui a fait l'objet des analyses du tableau de la figure 6.2, que 4 % des apports thermiques en été. Mais la distribution d'ecs a été particulièrement bien réussie et bien traitée. Il est probable que dans un immeuble ordinaire la contribution de la distribution d'ecs serait beaucoup plus importante.

En logements collectifs, et avec une production centralisée d'ecs, on est obligé de mettre en œuvre un « bouclage » qui est une distribution continue d'eau chaude dans le bâtiment afin que les usagers les plus éloignés de la chaufferie puissent avoir presque instantanément le service désiré. La conception de cette boucle est très importante pour réduire les consommations d'énergie, et donc aussi les apports thermiques en été.

Il faut en premier lieu que cette distribution passe le plus près possible des points de puisage, donc pas en gaine palière, mais dans des gaines techniques intérieures à chaque logement. En réduisant les distances gaines/usages, on réduit la quantité d'eau froide qu'il faut faire circuler pour obtenir de l'eau chaude, et donc les quantités d'eau chaude à produire. Techniquement, il faut résoudre le problème des relèves de compteurs qui ne sont plus accessibles de l'extérieur du logement. On procède par télé-relève, soit au moyen d'un système filaire, soit au moyen d'un système radio.

Il faut aussi essayer de limiter à une seule le nombre de gaines par logement (ce qui réduit le coût et les déperditions !). Les trois pièces humides sont ainsi regroupées autour de la gaine technique.

Il faut ensuite impérativement surisoler les conduites d'eau chaude en gaine. Trente millimètres d'isolant paraît un minimum. Une déperdition très inférieure à 5 W/ml doit être visée. Ne pas oublier, pour justifier ce choix, que la distribution fonctionne en permanence toute l'année.

Il faut enfin réduire le plus possible le niveau de la température de distribution. En dehors de toute considération sur la légionellose, distribuer à une température d'environ 45°C est un bon compromis. Cela évite les brûlures pour les enfants, et réduit fortement les pertes.

Remarque : on peut se poser la question de savoir si l'utilisation d'un ballon électrique dans chaque logement serait plus intéressante du point de vue des apports de chaleur en été. La réponse est non. Une boucle, bien conçue et bien calorifugée, fournit à chaque logement 0,45 à 0,5 kWh/j. Les pertes d'un ballon très bien isolé sont comprises entre 0,5 et 0,7 kWh/j, et celles d'un mauvais ballon peuvent même atteindre 1,5 kWh/j. Toutes ces valeurs sont supérieures à celle du bouclage.

■ apports dus à la consommation d'eau chaude sanitaire

Les apports dus à la consommation d'eau chaude ont été estimés à 5,2 % de la totalité des apports quotidiens en été. Réduire ces apports, c'est essentiellement réduire les volumes d'eau chaude consommés. Ceci permettrait incidemment aussi de réduire l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude.

Toutes les observations et mesures faites par le passé nous ont convaincus que les volumes d'eau chaude consommés aujourd'hui étaient en majeure partie envoyés à l'égout sans avoir été réellement utilisés. Beaucoup d'opérations se font « au fil de l'eau », comme la vaisselle qui peut consommer 70 litres d'eau chaude, alors qu'elle n'absorberait que dix litres si elle était faite dans des bassines, ou 15 litres si elle était faite dans un lave vaisselle.

Cette question de la consommation d'eau chaude sera rapidement au cœur du problème global posé par la consommation d'énergie de l'ecs elle-même. On n'atteindra pas les valeurs cibles de 10 kWh/m²/an pour l'ecs si on n'arrive pas à réduire les volumes prélevés par les occupants. Sans que ceux-ci aient le sentiment d'une régression de leur confort...

L'une des pistes à explorer rapidement serait la pose de robinets à détection de présence qui ne fonctionnent que lorsqu'on approche les mains du robinet. Ces dispositifs permettraient de répondre aux besoins réels avec des consommations minimum, sans générer de frustration.

6.2.3 Mettre en oeuvre une inertie thermique importante

La troisième étape dans la recherche du confort d'été est la recherche d'une très forte inertie. Il est certain qu'en rénovation le concepteur ne dispose pas de toutes les marges de manoeuvre nécessaires. Notamment si l'on part du principe que l'isolation sera faite majoritairement par l'intérieur. Il ne reste plus dans ce cas que les murs de refend et les planchers pour constituer une inertie suffisante.

L'inertie thermique ne peut régler à elle seule le problème du confort d'été. Elle est absolument nécessaire parce que l'inertie joue le rôle d'un amortisseur et qu'elle permet un stockage temporaire de la chaleur la journée, ce qui réduit l'élévation de température le jour et l'augmente la nuit. Mais cette mesure n'est pas suffisante. Elle doit impérativement être doublée d'un dispositif d'évacuation de la chaleur durant la nuit. En stockant la chaleur la journée, l'inertie évite seulement la montée en température de jour, en reportant l'inconfort vers la nuit. Ne prévoir QUE de l'inertie ne solutionnera donc pas le problème de l'inconfort d'été.

La figure 6.4 illustre bien ce propos. Elle représente l'évolution des températures dans un logement durant une semaine très ensoleillée du mois de août 2002 (on ne constate aucun passage nuageux sur les courbes d'insolation). L'utilisateur était probablement absent, il n'a en tout cas jamais ouvert sa véranda, ni le jour ni la nuit.

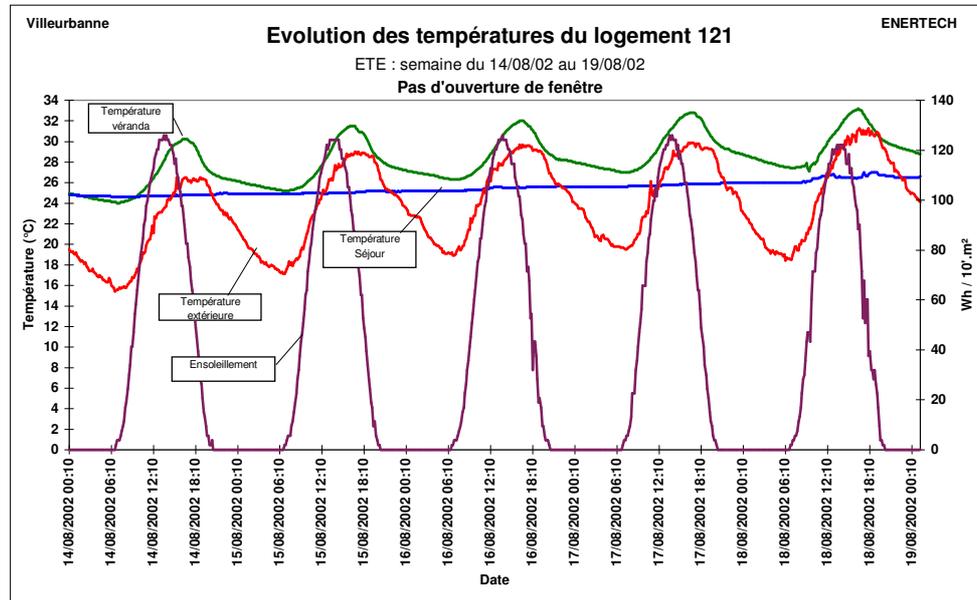


Figure 6.4 : insolation et températures en août 2002, sans ouverture des fenêtres

On voit clairement sur cette figure que, malgré la très forte inertie du bâtiment, le mode de fonctionnement sans aucun refroidissement nocturne conduit à une élévation continue de la température intérieure de 0,38°C/j. La situation deviendra très vite inacceptable...

On retiendra donc que le confort d'été sera atteint sous deux conditions :

- de l'inertie en quantité et surface suffisantes,
- des dispositifs de refroidissement nocturnes efficaces.

Dans la stratégie de rénovation, on aura donc à l'esprit en permanence de préserver l'inertie du bâtiment existant (car il sera rarement possible de créer de l'inertie). Mais la contrainte majeure sera la plupart du temps de devoir isoler par l'intérieur. Le problème sera donc reporté sur les refends et les planchers. En cas de rénovation lourde, on veillera donc à conserver à ces éléments de bonnes capacités d'échange, notamment en évitant de les recouvrir de revêtement qui pourraient constituer une isolation (moquettes, tapis, etc). L'absence d'inertie, ou une inertie insuffisante, conduirait assez sûrement à des conditions d'inconfort en été contre lesquelles il n'y aurait pas grand chose à faire....

6.2.4 Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit

Le seul moment de la journée où il est possible de refroidir l'intérieur des bâtiments est la nuit. Une bonne stratégie de confort d'été doit obligatoirement intégrer des dispositions allant dans ce sens. Mais il y a loin de la théorie à la mise en œuvre...

Ventiler la nuit peut se faire naturellement ou mécaniquement. Les études sur d'autres bâtiments ont montré qu'il faudrait *a minima*, la nuit, multiplier le débit nominal de l'installation par 3 à 3,5. Mais dans la réalité (à cause de la réduction de l'écart de température entre intérieur et extérieur), il faudrait que ce débit soit encore plus élevé et que l'augmentation de débit soit d'environ 5.

Il est *a priori* impossible de disposer d'une VMC pouvant assurer ce débit extrême, sachant qu'elle doit déjà pouvoir diviser par deux le débit nominal (à cause de la variation de débit sur les bouches à deux positions). Cela conduirait à de très importants surdimensionnements difficiles à financer et même à intégrer dans les gaines techniques et les logements. Cela conduirait également à de très importantes surconsommations d'électricité (la consommation d'électricité varie avec le cube du débit d'air). En conclusion, il faut retenir que la piste de la ventilation mécanique n'est sûrement pas la bonne pour évacuer la chaleur durant la nuit.

Il reste donc la ventilation naturelle. Elle est très efficace, et atteindre un renouvellement de dix volumes par heure avec une fenêtre ouverte est courant. La ventilation naturelle est la seule voie qui permettrait d'accéder aux débits nécessaires à l'évacuation de la chaleur en été dans les logements. L'expérience montre aussi qu'il n'est pas besoin que les logements soient traversants pour que cette ventilation soit efficace. Mais ce mode de ventilation n'est visiblement pas très utilisé par les usagers. Deux raisons expliquent ceci :

- le bruit en ville est important, même la nuit. On n'a pas encore trouvé de moyen permettant de l'atténuer lorsque les fenêtres sont ouvertes....

- les risques d'effraction, réels ou supposés. Les locataires ont souvent peur de dormir fenêtre ouverte, car ils craignent des intrusions. Cette crainte peut se justifier au rez-de-chaussée, mais pas dans les étages supérieurs.

Une autre piste, abondamment utilisée en Allemagne et dans les pays d'Europe du Nord, est le puits canadien. Il ne se conçoit qu'avec une installation double flux, c'est à dire dans laquelle l'insufflation et l'extraction d'air sont mécaniques. Le puits canadien permet au cours de la journée, en été, de rafraîchir l'air neuf qui va être insufflé en le faisant passer dans des conduits enterrés et donc plus frais. Il est possible de gagner ainsi plusieurs degrés. Mais il faut noter que, pendant les nuits d'été, le puits canadien doit être bypassé car l'air extérieur est souvent plus frais que l'air sortant du puits.

A défaut de ce dispositif, la ventilation nocturne par ouverture des fenêtres est la seule solution. Mais peut-être faudra-t-il intégrer dans le livret du locataire un certain nombre d'indications précises sur les comportements à avoir l'été :

- ouvrir les fenêtres durant la nuit,
- les fermer en principe toute la journée, ou en tout cas dès qu'il fait plus chaud dehors,
- éviter les préparations culinaires nécessitant une cuisson très longue,
- limiter l'usage des appareils électrodomestiques,
- utiliser des lampes basse consommation,
- débrancher systématiquement tous les appareils en veille,
- éviter de faire inutilement couler l'eau chaude,
- etc.

Evidemment l'exécution de ces conseils reste au libre arbitre des usagers. Il est donc probable que certains n'en tiendront pas compte. Pour cela, le confort d'été ne sera tout simplement pas possible en dehors de systèmes de climatisation qui sont par ailleurs proscrits essentiellement à cause des fuites importantes de gaz frigorigène qu'ils occasionnent en fonctionnement « normal ». Rappelons que ces gaz ont un pouvoir « effet de serre » 1000 à 8000 fois plus important que le CO₂....

CHAPITRE 7 : LES AUTRES ECONOMIES D'ENERGIE

Construire des bâtiments à faible consommation d'énergie suppose d'examiner attentivement, comme nous venons de le faire, la consommation de chauffage qui reste le principal poste de consommation, mais peut-être plus pour longtemps. Il paraît effectivement impératif de se pencher sur deux autres sources de consommation majeures : la consommation électro domestique et la consommation d'eau chaude sanitaire.

La consommation électro domestique des logements est, en immeuble collectif, d'environ 25 kWh/m².an. Ramenée en énergie primaire, cette consommation est de 65 kWh/m².an, soit plus que le chauffage ! Gare donc aux idées reçues.

Quant à l'eau chaude sanitaire, elle représente aujourd'hui en moyenne environ 40 kWh/m².an en logement, soit guère moins que le chauffage tel qu'il est envisagé dans le présent projet de rénovation.

Donner cohérence au projet de rénovation mulhousien, c'est tenter, mais tenter seulement, de ramener ces deux types de consommation, à des niveaux plus raisonnables. En effet, autant il est possible par construction d'influencer les consommations de chauffage, autant les consommations d'eau chaude et d'électricité sont *a priori*, surtout fonction du comportement et des choix des usagers. Mais pas complètement....

7-1 Maîtriser la demande d'électricité

Ce sujet a été abordé assez largement au cours du § 6.2. En complément, voici quelques indications supplémentaires destinées à réduire la consommation d'électricité spécifique dans les parties privatives.

7.1.1 Ce que peuvent faire les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage

On a montré au cours de nombreuses campagnes de mesure (voir <http://perso.club-internet.fr/sidler>) qu'il existait de très importants gisements d'économie d'électricité à usage spécifique dans le secteur résidentiel. Ces gisements sont les plus rentables et les plus faciles d'accès aujourd'hui pour les logements récents ou rénovés compte tenu du niveau des réglementations thermiques en vigueur. Mais on peut se demander comment les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre peuvent agir face à ces consommations dont certaines peuvent, au premier abord, paraître totalement hors de leur champ d'intervention.

La réponse est simple : **si certaines dispositions techniques ne sont pas prises lors de la construction ou de la réhabilitation des bâtiments, il sera très difficile, voire impossible à l'utilisateur d'accéder au gisement d'économie d'électricité.** Voici quelques exemples qui vont permettre de comprendre :

■ les appareils de froid performants ne font plus 60 cm de large mais fréquemment 66 cm à cause de l'épaisseur d'isolant. Or depuis le 3/3/2000 tous les appareils de classes E, F, G (les plus mauvais sur l'échelle des classes A à G actuellement en vigueur) sont interdits à la vente en Europe. Si on ne prévoit pas dans l'aménagement des cuisines au moins un module de 66cm de large au lieu de 60, les acquéreurs d'appareils de froid aux normes ne pourront pas les intégrer dans leur cuisine. Enjeux : de 250 à 500 kWh/an/appareil,

■ pour éliminer les veilles du site audiovisuel (jusqu'à 850 kWh/an) il faut débrancher chaque jour l'ensemble des prises alimentant le magnétoscope, la TV, Canal +, etc. Cela ne sera jamais fait à moins de disposer d'une prise de courant (toujours prévue à proximité de l'antenne TV) commandée par un interrupteur placé à l'entrée de la pièce. En sortant le soir l'utilisateur pourra ainsi couper la lumière et les veilles audiovisuelles. Enjeux : 250 à 650 kWh/an.

■ 80 % des lave-vaisselle en vente aujourd'hui peuvent être alimentés en eau chaude. Prévoir donc systématiquement, dans les logements où la production ECS n'est pas électrique, une double alimentation EF/EC sur les lave-vaisselles. Enjeux : transfert de 180 à 200 kWh/an.

■ les chaudières individuelles doivent, chaque fois que c'est possible, c'est à dire dans 99% des cas, être raccordées de façon à ce que le circulateur soit asservi au thermostat d'ambiance. On trouvera sur le site internet de notre société (<http://perso.club-internet.fr/sidler>) les borniers électriques de 65 chaudières murales vendues en France avec toutes les indications permettant d'effectuer la modification très simple qui est nécessaire (moins de 5 minutes au total !). Enjeux : 230 à 350 kWh/an.

S'il s'agit de chaudière murale à ventouse, il faut choisir des modèles sans veilleuse (mais elles sont interdites à la vente depuis le 01/01/2003), car celles-ci obligent le ventilateur de la ventouse à fonctionner en permanence (160 kWh/an).

■ la consommation des sèche-linge est une des consommations d'électricité les plus élevées des logements (500 kWh/an). Le développement de ces appareils, notamment en secteur social, est dû pour une part importante, à l'absence d'espace adapté au séchage naturel du linge. Construire des logements avec des espaces de séchage naturels (si possible extérieur au logement) semble une solution très économe. Enjeux : 500 kWh/an.

■ équiper tous les logements de lampe fluocompactes. Elles consomment 4 fois moins que les lampes à incandescence. L'enjeu est de 200 à 300 kWh selon les cas.

■ comme indiqué au § 6.2, on peut aussi pré-équiper les cuisines en matériels performants, ou imaginer des espaces collectifs pour le lavage et le séchage du linge.

Conclusion pratique : Les dispositions qui précèdent sont simples et peu coûteuses. Elles doivent systématiquement être mise en oeuvre dans les constructions neuves ou rénovées car elles permettront aux usagers des économies importantes. Mais il serait aussi extrêmement intéressant d'informer et de sensibiliser les occupants aux dispositifs mis en place chez eux pour les aider à économiser l'électricité. Il s'agit à notre avis d'un investissement d'une extrême rentabilité.

7.1.2 Ce que peuvent faire les usagers

Les usagers peuvent agir vite sur la réduction des consommations. Quatre actions prioritaires doivent être entreprises avant toute autre :

1 - si l'appareil de froid a plus de 5 ou 6 ans, ou si le compresseur ne cesse de tourner, alors il faut le remplacer immédiatement par un appareil de classe énergétique A, voire A+ ou A++ (consulter pour cela le site <http://www.energy-plus.org> sur lequel on trouve la liste des appareils de catégorie A+ et A++). Le temps de retour est inférieur à 5 ans. Si l'on dispose à la fois d'un réfrigérateur et d'un congélateur, préférer un réfrigérateur simple froid et un congélateur (coffre de préférence) regroupant la totalité des volumes de congélation. C'est une

solution beaucoup plus économe en énergie. Il faut surtout prendre soin de mettre au rebut les anciens appareils,

2 - remplacer dans le logement les 5 ampoules les plus consommatrices par 5 ampoules fluocompactes. Même à 15 euros l'ampoule, cette opération équivaut à un placement financier à 20 %/an !

3 - si le logement dispose d'une chaudière individuelle, asservir le circulateur au thermostat d'ambiance,

4 - supprimer toutes les veilles possibles en débranchant les appareils non utilisés ou en les plaçant sur des barrettes multiprises munies d'un interrupteur de coupure.

On pourra aussi modifier ses comportements (voir <http://perso.club-internet.fr/sidler> « conseils pour réduire sa consommation électroménagère ») : éteindre les lumières, etc est très profitable. Les changements de comportements ne coûtent rien mais ils peuvent avoir un impact très important (environ 30 % d'économie sont possibles par un comportement « sobre »).

7-2 Réduire la consommation d'énergie liée à l'eau chaude sanitaire

La consommation d'énergie absorbée par le service de l'eau chaude sanitaire (production de chaleur, distribution, etc) est fonction d'abord de la quantité d'eau consommée, puis du rendement de l'installation. Il faut donc travailler sur les deux thèmes si l'on veut réduire efficacement les niveaux de consommation.

Les observations déjà faites au cours de travaux récents sur le sujet montrent qu'il existe une dérive inquiétante des consommations d'eau chaude sanitaire due non pas à une augmentation des besoins mais à une augmentation des gaspillages et des usages « au fil de l'eau ». Ce phénomène est inquiétant dans la mesure où il est purement comportemental et échappe en bonne partie à toutes les dispositions techniques qui pourraient être prises. Il faudra donc rechercher des solutions très originales pour infléchir cette tendance.

7.2.1 Réduire les quantités d'eau chaude consommées

Les dispositions sont désormais classiques :

- pose de réducteurs de pression à l'entrée des logements si la pression du réseau eau froide est supérieure à 2,5 ou 3 bars,
- pose de réducteurs de débit au nez des robinets. On adoptera des réducteurs calibrés de faible débit (par exemple 4 l/minute),
- utilisation de douchettes à turbulence sur les baignoires,
- utilisation de détecteurs de proximité sur les robinets de la cuisine. Ces dispositifs ne se mettent en route que lorsque la main est proche de l'orifice.

Mais d'autres dispositions permettent également de réduire les volumes d'eau puisés. Il faut par exemple limiter le plus possible la distance entre les colonnes de distribution d'eau chaude et les points de puisage. Faute de quoi, à chaque soutirage d'eau, l'utilisateur devra attendre de longs moments pour que l'eau chaude arrive, ce qui constitue un gaspillage et amènera l'usager à se plaindre à son propriétaire en lui reprochant de lui faire payer de l'eau froide au prix de l'eau chaude....

A défaut d'une colonne de distribution d'eau collective, si on utilisait un ballon d'eau chaude sanitaire, le principe précédant conduirait à placer ce ballon au centre et à proximité des points de puisage. On peut considérer qu'une distance maximum de deux mètres doit exister entre le ballon (ou la colonne) et les points de puisage les plus éloignés.

7.2.2 Réduire les pertes de distribution

La boucle de distribution fonctionne 24h/24 toute l'année. Elle devra donc être particulièrement bien calorifugée et on veillera à ce que les pertes soient inférieures à 5 W/m. Ceci peut conduire à utiliser des épaisseurs d'isolant de 30 mm. C'est peu courant mais très profitable, notamment au regard des apports de chaleur internes au logement en été.

De même toutes les canalisations en chaufferie, ou en local technique devront être très bien calorifugées et les pertes ne devront jamais dépasser 5 W/m.

7.2.3 Réduire les pertes de stockage

La même logique conduira à « surisoler » les ballons de stockage d'eau chaude, qu'il s'agisse de ballons solaires ou de ballons d'appoint. La résistance thermique à mettre en œuvre sur la paroi des ballons devra être d'au moins 3 m²K/W.

7.2.4 Réduire les pertes de tous les organes de production de chaleur

En France, certains organes de la chaîne de production et de transfert de chaleur comme les échangeurs à plaques, les pompes, les vannes, etc. ne sont jamais calorifugés. Or nous avons pu évaluer par mesure que les pertes occasionnées par ces pratiques étaient considérables et ruinaient le rendement de production ecs, notamment en été.

Il faudra donc à l'avenir songer à calorifuger tous ces organes un peu négligés....

7.2.5 Améliorer le rendement de la production de chaleur

Produire de l'eau chaude sanitaire par une chaudière commune au chauffage n'est pas forcément la meilleure solution, notamment en été. A cette période en effet, le fonctionnement de la chaudière est très épisodique, si bien que la chaudière fonctionne quelques minutes, puis s'arrête une heure, fonctionne à nouveau quelques instants, et ainsi de suite. Il s'ensuit que le rendement global de la production de chaleur n'est alors, selon les mesures, que de 40 %....

Il faut donc imaginer d'autres modes de production de chaleur, plus efficaces et mieux adaptés au besoins de la production ecs. Peut-être les systèmes ballons à brûleur intégré constituent-ils une piste intéressante puisqu'ils suppriment tous les transferts et dans la mesure où une part importante de ce qui est perdu par le brûleur est récupéré par le ballon ■

CONCLUSION

Cette étude prospective sur la faisabilité de rénover des logements anciens à un niveau de consommation de 50 kWh/m²/an d'énergie primaire a permis de tirer plusieurs enseignements :

- il semble que la solution la plus intéressante, la plus simple à mettre en œuvre, la plus simple à contrôler, la moins chère à réaliser et probablement la plus efficace soit celle de « la solution technique universelle » par laquelle on mettrait en œuvre les mêmes dispositions techniques de rénovation dans tous les logements, sans distinction. Cette disposition rendrait l'opération beaucoup plus lisible et plus acceptable par tous les acteurs professionnels locaux. Elle rendrait aussi beaucoup plus simple et plus conséquente la mise en place d'une demande technique nouvelle en direction des fabricants, plutôt qu'une demande diffuse et mal cernée orientée vers une trop grande quantité de produits à livrer....en petites quantités.

- à partir des technologies déjà existantes en Europe, ce projet est parfaitement réalisable. Il ne présente pas d'impossibilités techniques. Il faut en revanche reconnaître que les technologies actuellement disponibles en France ne sont pas toujours adaptées et que dans certains cas, il faudra aller compléter l'offre sur le marché allemand tout proche,

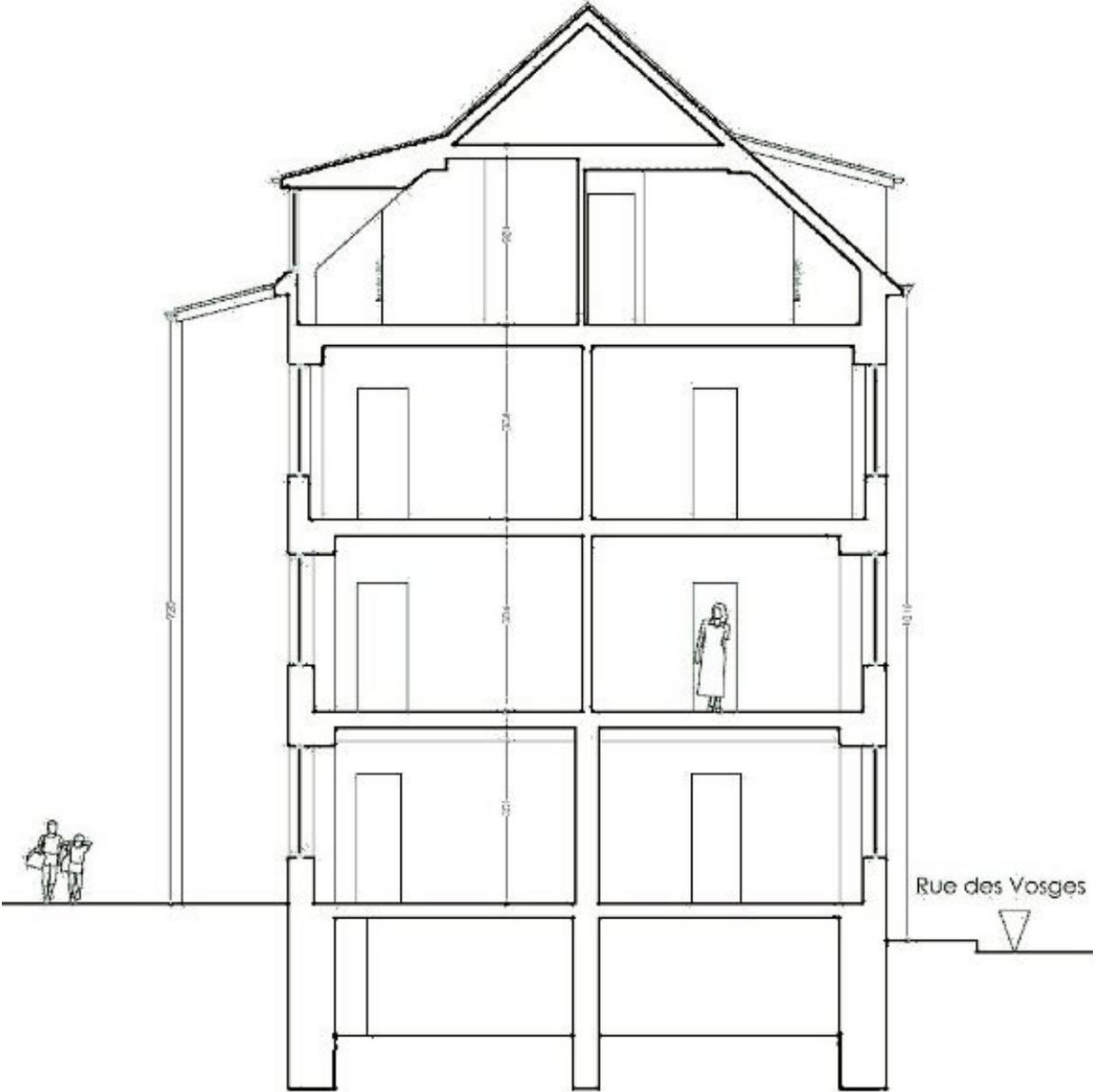
- le cas des menuiseries extérieures triple vitrage mérite d'être traité à part et de manière locale. Une offre devrait semble-t-il pouvoir rapidement se mettre en place en Alsace même.

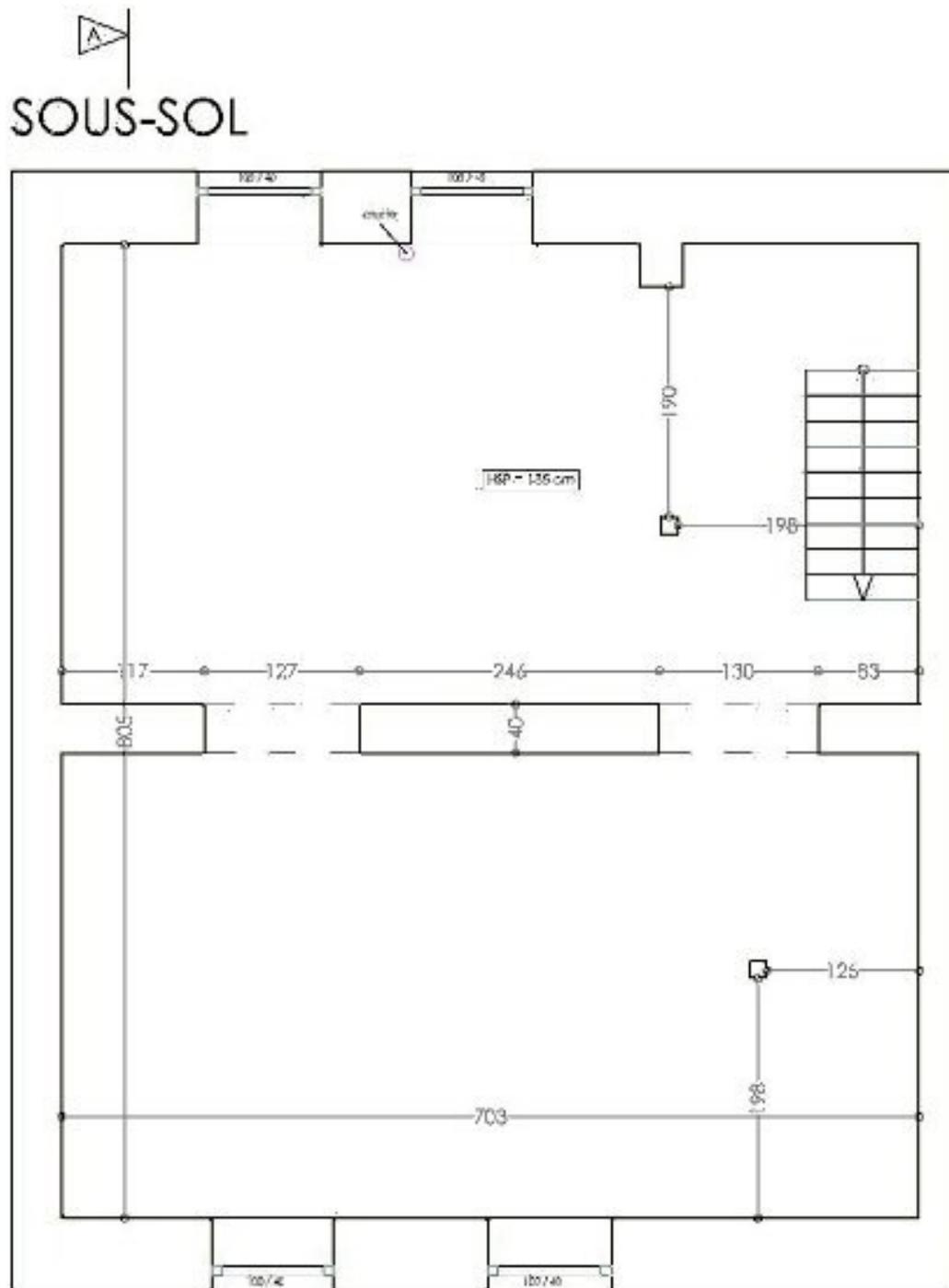
- L'analyse économique montre que le coût de la solution retenue est en moyenne de 167 euros/m² habitable. Au prix actuel de l'énergie, le temps de retour brut est inférieur à 15 ans.

Enfin, l'analyse du confort d'été a montré qu'il faudrait prendre certaines dispositions complémentaires importantes pour éviter tout inconfort en période estival. Une bonne protection solaire bien sûr, mais aussi une réduction drastique des apports internes, et notamment des consommations électrodomestiques, des consommations de la cuisson et des consommations d'eau chaude sanitaire ■

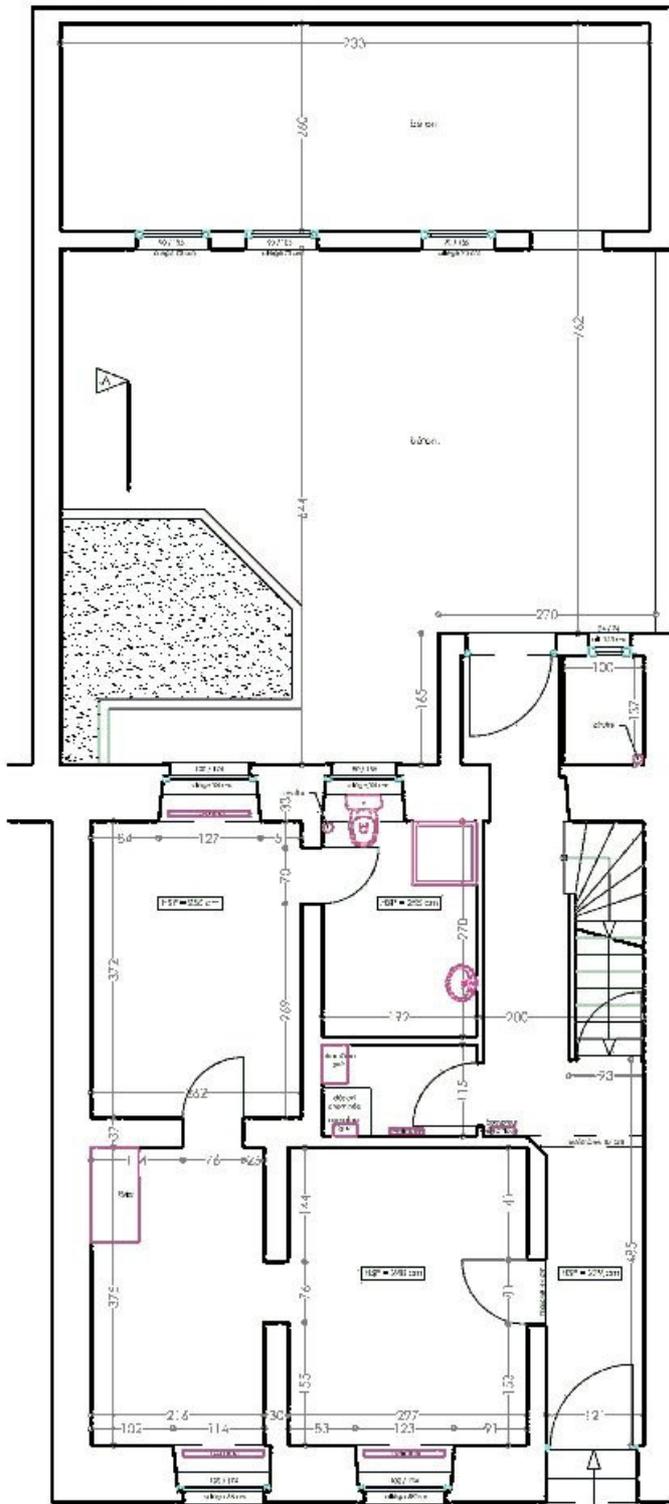
ANNEXES

Plans du bâtiment situé au 31, rue des Vosges



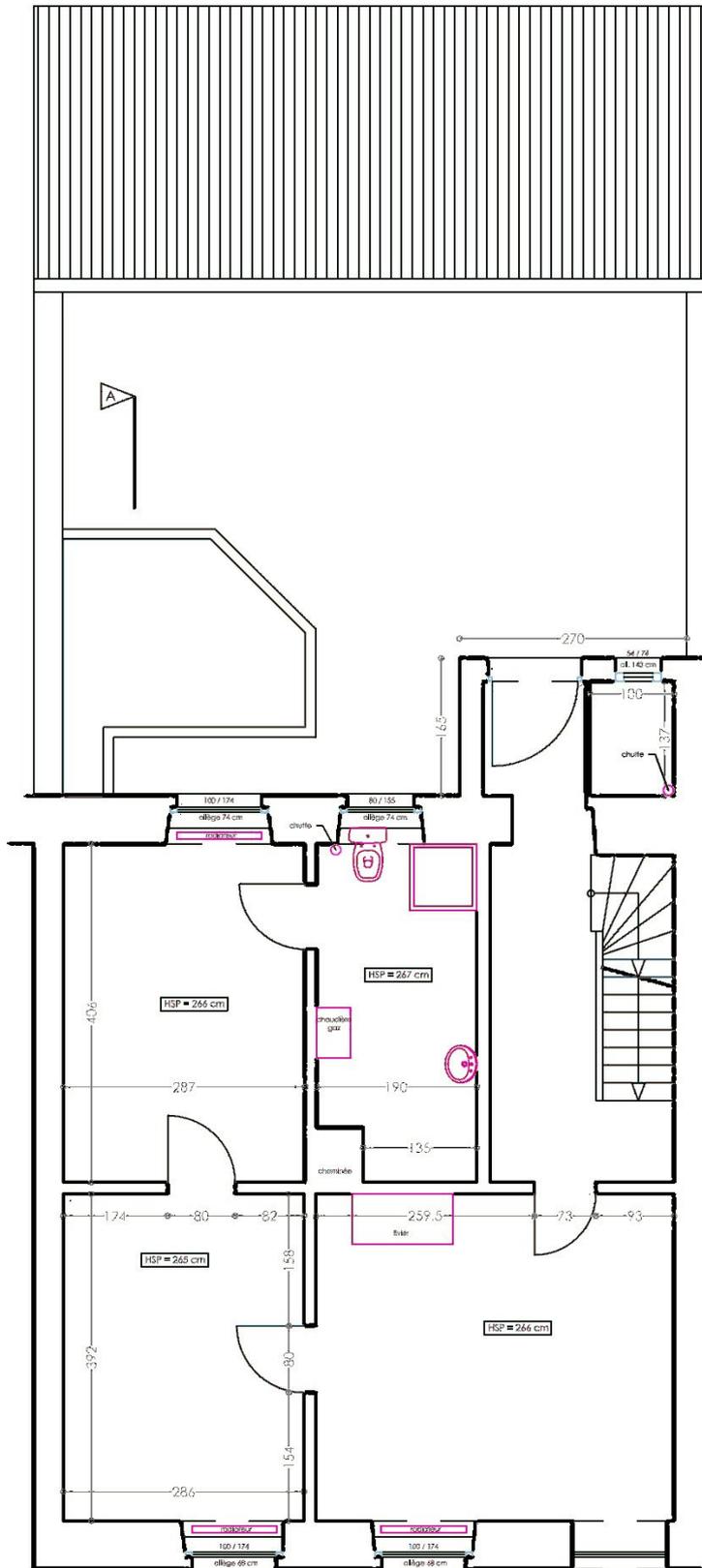


REZ-DE-CHAUSSEE



SURFACE HABITABLE = 49,75 m²

PREMIER ETAGE



SURFACE HABITABLE = 56,30 m²

